

**Nástroj pro modelování
fotovoltaických elektráren**
**Tools for Modelling Photovoltaic
Systems**

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Tomáš Bílek

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Nástroj pro modelování fotovoltaických elektráren
Tools for Modelling Photovoltaic Systems

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou budování fotovoltaických elektráren. Zaměřte se na problematiku jejich zapojení a popište všechny komponenty, které jsou nutné k realizaci projektu.
2. Proved'te revizi požadavků vámi realizované bakalářské práce a doplňte je o nové možnosti a specifikace systémů se zaměřením na malé instalace (rodinné domy, chaty atd.)
3. Cílem práce je provést analýzu návrh a implementaci expertního systému v jazyce Java (případně .NET), který bude řešit možnosti tvorby těchto systému a to jak formou vlastního návrhu, tak pomocí interaktivního průvodce.
4. Systém bude schopen v kombinaci s dalšími pracemi kalkulovat náklady na radiaci, odhadovaný maximální a roční výkon modelovaného zapojení.
5. Implementujte vlastní inteligentní systém, který bude navrhovat sestavy na základě obecných kritérií zadavatele (cena, požadovaný výkon, servisní podmínky, doba životnosti a další.)
6. Výsledky vhodně vizualizujte a spolupracujte s již realizovanými moduly. Připravte podklady pro publikaci dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Suri, M., Huld, T.A., Dunlop, E.D., Ossenbrink, H.A.: Potential of Solar Electricity Generation in the European Union Member States and Candidate Countries. In: Solar energy 2007. LNCS, vol. 81, issue 10, pp. 1295{1305 (2007)
2. Huld, T., Suri, M., Dunlop, E.D.: Comparison of Potential Solar Electricity Output From Fixed-inclined and Two-axis Tracking Photovoltaic Modules in Europe. In: Progresss in photovoltaics 2008. LNCS, vol. 16, issue 1, pp. 47{59 (2008)
3. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
4. Suri, M., Huld, T., Cebecauer, T., Dunlop, E.D.: Geographic Aspects of Photovoltaics in Europe: Contribution of the PVGIS Website. In: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 2008. LNCS, vol. 1, issue 1, pp. 34{41 (2008)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radoslav Fasuga, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012




doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 3. května 2012


.....

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu Ing. Radoslavu Fasugovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, odbornou pomoc a trpělivost při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na tvorbu aplikace podporující sestavení FV systémů z reálných komponent a také s ohledem na jejich elektrické i finanční parametry. První část textu se zpočátku zaměřuje na vysvětlení obecných pojmů fotovoltaiky, po kterém již následuje popis samotných FV systémů. Nejprve je čtenář seznámen s nejdůležitějšími zařízeními nutnými pro stavbu těchto systémů, poté jsou představeny formy výkupu elektrické energie a první část je ukončena popisem jednotlivých typů systémů. Druhá část textu se již zabývá popisem budované aplikace. Nejprve jsou popsány nejdůležitější požadavky na aplikaci, které jsou následně zpracovány do scénářů případů užití. Po prostudování těchto požadavků dospěje čtenář k popisu samotné implementace. Ta je popsána postupně, tedy nejprve jsou popsány obecné implementační problémy, následně pak implementace nejdůležitějších požadavků a na závěr pak výsledky implementace.

Klíčová slova: diplomová práce, fotovoltaický systém, Polysun, PV Professional, PV*SOL, sestavení fotovoltaických systémů, simulace provozu fotovoltaických systémů

Abstract

The diploma thesis is focused on developing an application supporting photovoltaic systems assembly from real components with regard to their electric and financial parameters. The first part is focused on explaining general photovoltaic terms and is followed by the characterization of photovoltaic systems themselves. Firstly, the reader is informed about the most important devices necessary for assembling the systems. Then, the particular forms of purchasing electric energy are presented. In conclusion, the characteristic of particular system types is given. The second part is aimed to the description of the developing application. At the beginning, the most important application's requirements followed by their possible usage are characterized. After studying the requirements, the reader is presented a detailed step-by-step description of the implementation itself. Firstly, the implementing problems are introduced in general, and then followed by the description of the main requirements involved. The part is concluded by the presentation of particular results of the implementation.

Keywords: assembly of photovoltaic systems, diploma thesis, photovoltaic panel, Polysun, PV Professional, PV*SOL, simulation operation of photovoltaic systems

Seznam použitých zkratek a symbolů

AC	– Střídavý
AM	– Air mass
AJAX	– Asynchronous JavaScript and XML
ČR	– Česká republika
DC	– Stejnosměrný
ERÚ	– Energetický regulační úřad
EVA	– Ethylene-vinyl acetate
FV	– fotovoltaický
GUI	– Graphical user interface
HTML	– HyperText Markup Language
Hz	– Hertz
J	– Joule
kWh	– Kilowatthodina
MySQL	– My Structured Query Language
NiCd	– Nikl-kadmium
NiFe	– Nikl-železo
NiMH	– Metal-hydrid
PDF	– Package Definition File
PSC	– Poštovní směrovací číslo
UV	– Ultrafialové záření
V	– Volt
VAch	– Voltampérová charakteristika
W	– Watt
W_p	– Watt peak
WS	– Webové služby
XML	– Extensible Markup Language
°C	– Stupeň Celsia
m	– Metr

Obsah

1	Úvod	5
2	Fotovoltaika	6
2.1	Slunce	6
2.2	Sluneční záření	6
2.3	Sluneční záření dopadající na Zemi	6
2.4	Historie fotovoltaiky	7
2.5	Foton	8
2.6	Fotoelektrický jev	8
2.7	Fotovoltaický článek	8
3	Zařízení	11
3.1	Fotovoltaický panel	11
3.2	Invertor	11
3.3	Akumulátor	12
3.4	Regulátor	13
3.5	Stejnoseměrný (DC) rozvaděč	13
3.6	Konstrukce	13
3.7	Vedení (kabeláž)	14
4	Formy výkupu elektrické energie	15
4.1	Zelený bonus	15
4.2	Výkupní cena	15
5	Fotovoltaické systémy	16
5.1	Autonomní systémy	16
5.2	Systémy připojené na distribuční síť	17
6	Existující aplikace	19
6.1	Polysun	19
6.2	PV*SOL	23
6.3	PV Professional	29
6.4	Inspirace k vlastní aplikaci	33
7	Nejvýznamnější požadavky na aplikaci	35
7.1	Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce	35
7.2	Návrh FV systému pomocí šablony	38
7.3	Simulace provozu off-grid systémů	40
7.4	Případy užití	42

8	Úvod do implementace	46
8.1	Použité frameworky	46
8.2	Databáze	46
8.3	Zapojení	48
8.4	Fotovoltaický systém	50
8.5	Šablona	51
8.6	Komunikace s dalšími aplikacemi	52
9	Vlastní implementace	53
9.1	Konfigurátor zapojení	53
9.2	Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce	53
9.3	Návrh FV systému pomocí šablony	58
9.4	Simulace provozu off-grid systémů	63
10	Výsledky implementace	65
10.1	Konfigurátor zapojení	65
10.2	Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce	66
10.3	Návrh FV systému pomocí šablony	68
10.4	Simulace provozu off-grid systémů	69
11	Závěr	72
12	Reference	73

Seznam tabulek

1	Výsledky poskytované v sumarizační části	22
2	Klady a zápory aplikace Polysun	23
3	Klady a zápory aplikace PV*SOL	29
4	Klady a zápory aplikace PV Professional	33
5	Konstrukce přiřazené jednotlivým panelům	62

Seznam obrázků

1	Druhy slunečního záření	7
2	V Ach FV článku	10
3	Složení FV panelu	12
4	Část návrhu FV kabel - Kabelové úseky	21
5	Fotorealistický plán vlastní střechy	25
6	Procentuální zastínění FV panelů	27
7	Graf zobrazující ekonomické výsledky FV systému	28
8	Plocha FV panelů	31
9	Znázornění čerpání inspirace	34
10	Schéma on-grid FV systému	36
11	Schéma off-grid FV systému	36
12	Proces návrhu FV systému za pomoci interaktivního průvodce	37
13	Proces návrhu šablony pro off-grid FV systémy	38
14	Proces sestavení FV systému ze šablony - aktivitní diagram	41
15	Proces sestavení FV systému ze šablony - schéma	41
16	Vrstvy aplikace	47
17	Třídní diagram přístupu do databáze	48
18	Třídní diagram zapojení	49
19	Třídní diagram FV systému	51
20	Třídní diagram šablony FV systému	52
21	Třídní diagram konfigurátoru zapojení	54
22	Rozdělení FV systému pro účely sumarizace	58
23	Třídní diagram výběru zařízení z databáze pomocí konkrétních parametrů	59
24	Třídní diagram kalkulace FV systému ze šablony	60
25	Třídní diagram simulace FV systému	64
26	Výsledek implementace konfigurátoru zapojení	66
27	Výsledek implementace interaktivního průvodce	67
28	Příklad výsledných grafů	68
29	Výsledek implementace šablony FV systému	69
30	Výsledek implementace šablony FV systému	70
31	Ústřední tabulka popisující simulaci	71
32	Poměr spotřeby jednotlivých zařízení	71

1 Úvod

Energie vyskytující se v jakékoli formě je jedna z nejdůležitějších složek fungování planety Země. Je základem života pro biosféru tj. živé organismy i technosféru tj. civilizace. Biosféra se naučila využívat sluneční energii již před mnoha miliony let, kdy rostliny tuto energii zachycují a zpracovávají ji do formy organických sloučenin. Následně tyto sloučeniny využívají živočichové ke své potravě a vzniká tak koloběh života. Biosféra poháněná sluneční energií může existovat po neomezeně dlouhou dobu resp. po dobu života Slunce. Technosféra je poháněná zejména fosilními palivy tj. zásoby vytvářené od počátku Země rostlinami, které nyní naše civilizace čerpá ohromnou rychlostí. Fosilní paliva jsou „vyráběny“ biosférou mnohem menší rychlostí než s jakou je naše civilizace spotřebovává, což povede nezadržitelně k vypotřebování těchto zásob. Fosilní paliva resp. jejich zpracování mají kromě omezeného množství ještě jednu zásadní nevýhodu a to je jejich vliv na životní prostředí, zejména pak na atmosféru. Při spalování fosilních paliv uniká do atmosféry oxid uhličitý, který je jedním ze skleníkových plynů a má tedy významný vliv na teplotní stabilitu naší planety. Lidstvo si tedy klade otázku: „Jakým zdrojem energie nahradíme fosilní paliva?“.

Pro současnou technickou civilizaci má největší význam energie ve formě elektřiny. Oproti jiným formám patří mezi její výhody zejména snadné použití a i její dostupnost. Tedy ideálním zdrojem energie by měl být takový univerzální zdroj, který bude snadno formovatelný na elektrickou energii, nebude tak snadno vyčerpátný a při jeho zpracování nebude docházet ke znečištění životního prostředí tak jako u fosilních paliv.

Ideálním zdrojem se zdá být všude přítomné sluneční záření. K využívání sluneční energie je ovšem nutné zařízení, které dokáže tuto energii formovat na energii elektrickou. V současnosti se k tomuto účelu nejběžněji používá FV článek. Lidstvo však na výrobu energie ze slunečního záření nepohlíží pouze po technologické stránce, ale je třeba zodpovědět otázky ekonomického charakteru tzn. Zařízení k formování sluneční energie musí být levné, spolehlivé, dostatečně účinné atd.. V současnosti je na fotovoltaiku kladen velký důraz společností, proto i různé obory se musí fotovoltaikou zabývat. Ne jinak tomu bude i v této diplomové práci, kdy její hlavní náplní je tvorba softwaru pro navrhování FV systémů.

V první části je čtenáři alespoň v základech nastíněna oblast fotovoltaiky a popsány její základy. Tato část také zahrnuje představení již existujících aplikací, zabývajících se touto tematikou. Druhá část práce již popisuje tvorbu vlastní aplikace a její postupný vývoj v čase, a také úspěchy i neúspěchy při její realizaci.

2 Fotovoltaika

2.1 Slunce

Slunce je hvězdou nejbližší k Zemi tvořící střed sluneční soustavy. Jeho hmotnost je asi 330 000x větší nežli je hmotnost planety Země a tvoří asi 99,8 % hmotnosti celé sluneční soustavy. Slunce je považováno za obnovitelný zdroj slunečního záření; předpokládá se, že délka jeho života bude ještě 5 – 7 miliard let. Energie slunečního záření je základem pro život na Zemi a je „hnacím motorem“ většiny procesů na ní probíhajících.

Zdrojem energie ve Slunci jsou termojaderné reakce, kdy dochází ke spojování jader vodíku za vzniku helia. V každém okamžiku je uvolněna energie o velikosti $3,8 \cdot 10^{26}$ J. Část uvolněné energie je přenášena na Zemi ve formě elektromagnetického záření.

2.2 Sluneční záření

Sluneční záření dopadá na hranici atmosféry v hustotě zhruba $1\,370\text{ W/m}^2$ (solární konstanta). Solární konstanta představuje množství dopadeného slunečního záření na horní hranici atmosféry na plochu o velikosti 1 m^2 , která je kolmá k tomuto záření. Veškerá spotřeba energie technosféry je odhadována na $1,0 \cdot 10^{13}\text{ W}$, přičemž Slunce dodá na Zemi energii o velikosti $1,8 \cdot 10^{17}\text{ W}$. Zdá se tedy, že potenciál slunečního záření je dostatečný a přimyslíme-li si délku života Slunce i dlouhodobý.

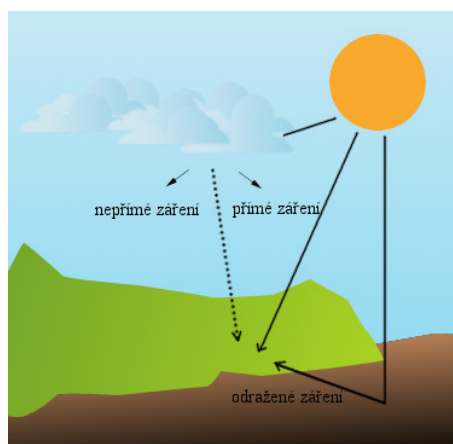
Celkové sluneční záření dopadající na povrch planety Země je označováno za globální záření. Je tvořeno třemi primárními složkami (obrázek 1).

- **přímé** Je záření, které při ideálních podmínkách (bezmračná a jasná obloha) dopadá na Zemi beze změny jeho směru.
- **nepřímé(difuzní)** Záření, které je rozptýleno v částech atmosféry nebo mracích. Difuzní záření dopadá na zemský povrch ze všech směrů.
- **odražené** Záření odražené od okolí.

2.3 Sluneční záření dopadající na Zemi

Slunce jako zdroj vyprodukuje obrovské množství využitelné energie. Pokud chceme tuto energii dále zpracovávat a formovat pro naše potřeby, je nutné se zamyslet nad jejím potenciálem, tedy kolik elektrické energie je možné vyprodukovat na konkrétním místě za nějaký čas. Jelikož množství slunečního záření dopadajícího na Zemi je proměnlivé, není vždy jednoduché tento potenciál určit. Množství dopadeného záření je ovlivněno především znečištěním atmosféry, polohou Slunce, počasím a také zástavbou. Sluneční záření putující ze Slunce je oslabováno hned několika faktory, mezi nejvýznamnější patří atmosféra.

- **Znečištění atmosféry** Atmosféra je složena mj. z aerosolů a tuhých částic, které zabraňují průchodu slunečního záření a výrazně tak ovlivňují jeho dopadené množ-



Obrázek 1: Druhy slunečního záření

ství. Například v městských zástavbách se vyskytuje větší množství aerosolů a tuhých částic a tím se snižuje intenzita slunečního záření.

- **Počasí (oblačnost)** Jedná se o největší překážku ovlivňující množství dopadeného slunečního záření na zemský povrch. Mraky část záření rozptýlí (difuzní záření) a část odrazí zpět. Průběh počasí je pro každou lokalitu individuální a při stavbě FV systému (dále jen FV. systém) je právě na výběr lokality kladen velký důraz.
- **Vrstva vzduchu** Vrstva (velikost) vzduchu kterou musí sluneční záření projít než dorazí k Zemi. Pro vyjádření velikosti vrstvy se používá tzv. „Air Mass“ faktor.

Všechny tyto faktory a mnohé jiné zapříčiní, že na povrch planety Země dopadne menší množství energie, než je udáváno solární konstantou.

2.4 Historie fotovoltaiky

Roku 1839 se poprvé objevil náznak fotovoltaiky. V té době devatenáctiletý Francouz Alexandr Edmond Becquerela při experimentech s kovovými elektrodami ponořenými do nádoby s elektrolytem popsal pokus při kterém se napětí na elektrodách měnilo v závislosti na míře osvětlení nádoby. Willoughby Smith roku 1873 používal při svých pracích selen. Při manipulaci s ním zaznamenal, že vodivost selenu se mění v závislosti na jeho osvětlení. Tento jev následně popsal v časopise Nature pod názvem „Effect of Light on Selenium during the passage of an Electric Current“. William Grylls Adam spolu se svým žákem Richardem Evansem Dayem roku 1876 pozorovali jev [1], který je považován za základní objev fotovoltaiky, a to že pevný materiál (selen) může měnit světlo na elektrickou energii, bez využití pohyblivých částic nebo tepla. Roku 1883 Charles Fritts popisuje první solární články ze selenových destiček. Významný mezník v rozvoji fotovoltaiky položil Albert Einstein [2], když 17. března 1905 popsal fotovoltaiický jev na základě kvantové fyziky v textu „On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production

and Transformation of Light“. Díky tomuto počínu obdržel roku 1921 Nobelovu cenu (pro zajímavost: jeho práce měla pouze 17 stran). K moderní fotovoltaice se roku 1918 přiblížil polský vědec Jan Czochralski, když vyvinul metodu výroby monokrystalického křemíku.

Prvním významným impulzem pro výzkum v oblasti fotovoltaiky se stala kosmonautika. Umělé družice vysílané do vesmíru potřebovaly stálý přísun energie po dlouhé období. Když v roce 1954 v Bellových laboratořích v USA vynalezli solární článek z účinností 6 %, zdála se být fotovoltaika vhodným zdrojem pro umělé družice. Velkým problémem v počátcích byla příliš vysoká cena, která byla zapříčiněna nutností velmi čistého křemíku při výrobě FV článků.

V 70. letech se začaly objevovat FV články i na Zemi. Použití bylo však velmi omezené. Dalším velmi významným impulzem k rozvoji fotovoltaiky se stala ropná krize, kdy si lidstvo uvědomilo nutnost hledání nových zdrojů energie. K rozvoji fotovoltaiky té doby přispěla i levnější produkční výroba čistého křemíku, která do té doby představovala poměrně zásadní problém.

Roku 1983 po celém světě přesahuje fotovoltaická produkce 21,3 MW. Velký vzestup v této oblasti nastává až kolem roku 2001.

2.5 Foton

Sluneční záření se může za určitých podmínek chovat, jako by se jednalo o proud částic (elementárních). Alber Einstein pojmenoval tyto elementární částice jako fotony. Tedy pomocí fotonů je popisováno kvantum elektromagnetické energie. Foton dokáže předat svou energii elektronu v polovodiči nebo kovu.

2.6 Fotoelektrický jev

Je fyzikální jev, při kterém jsou elektrony emitovány z látky (např. kovu) v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou (dopadající fotony). Jestliže je energie elektromagnetického záření dostatečná, elektron vylétne z povrchu látky a zanechá po sobě kladný náboj (označovaný jako „díra“). Jestliže však energie záření je nedostačující, elektron látku neopustí a je velkou rychlostí přitažen kladným nábojem díry zpět a jeho energie se vytratí ve formě neúčinného tepla. Pro fotovoltaiku je nutné od sebe separovat elektrony a díry tak, aby než elektron bude opět přitažen kladným nábojem díry prošel elektrickým obvodem a vydal získanou energii ve spotřebiči.

2.7 Fotovoltaický článek

FV článek je základ všech FV systémů resp. FV panelů. Dochází v něm k přeměně sluneční energie na energii elektrickou. Při znalostech fotovoltaického jevu je k této přeměně potřeba dvou zásadních věcí, volných elektronů a elektrického pole, které tyto elektrony rozpohybuje v požadovaném směru (obvodem bude procházet elektrický proud).

Pro FV články se používají polovodiče díky lepší separaci volných elektronů od děr. Polovodiče jsou látky jejíž elektrická vodivost je závislá na vnějších nebo vnitřních pod-

mínkách a které leží na rozmezí kovů a izolantů. Samy o sobě neobsahují volné elektrony, ale je možné jim je dodat např. dopadem slunečního záření (vnější podmínka), nebo příměsí jiného prvku polovodiče (vnitřní podmínka). Nejběžněji používaným polovodičovým materiálem pro výrobu FV článků se stal křemík, má asi 90 % zastoupení. Samotný polovodič však k separaci nestačí, je nutné aby v něm byl vytvořen tzv. P-N přechod.

Podstata P-N přechodu bude vysvětlena na křemíku. Jestliže do křemíku je přidáno určité množství fosforu, vznikne v něm nadbytek volných elektronů, tedy vznikne polovodič typu N. Jestliže je křemík dotován borem vznikne příměs, ve které je nadbytek děr a vznikl tak polovodič typu P. Pokud těsně spojíme oba typy polovodiče, vznikne v místě jejich dotyku přechod P-N [3, 4]. Při dotyku polovodiče typu P a N začnou pronikat elektrony do části P, díry do části N a začnou rekombinovat. Tato rekombinace však probíhá po velice krátkou dobu, neboť se začíná v oblasti přechodu projevovat difuzní elektrické pole. Toto pole nepustí další elektrony ani díry a vznikne tak oblast nazývaná hradlová vrstva. Jakmile na FV článek dopadne sluneční záření, začnou se uvolňovat díry a elektrony. Po připojení spotřebiče pomocí vodičů se začnou kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud.

Název fotovoltaický je odvozen od slov *foto* (světlo) a *volt* (jednotka elektrického napětí).

2.7.1 Elektrické vlastnosti

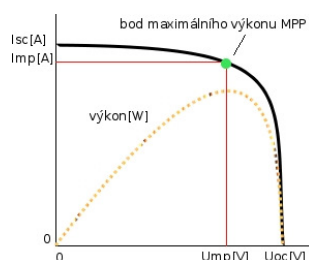
U FV článků jsou zásadní tři veličiny a to elektrický proud, elektrické napětí a vnitřní odpor. Napětí naprázdno U_{oc} (Open Circuit) je napětí FV článku bez zatížení; není připojen ke spotřebiči. Toto napětí je odvislé zejména od použitého typu polovodiče. Proud nakrátko I_{sc} (Short Circuit) tj. proud který je závislý na intenzitě dopadajícího slunečního záření; jedná se v podstatě o maximální možný proud jaký může článek dodávat a spolu s U_{oc} se jedná o charakteristické hodnoty voltampérové charakteristiky (VACh). Důležitý je také vnitřní odpor článku, neboť díky němu dochází k nežádoucím úbytkům napětí.

Pracovní bod FV článku je bod na VACh, ve kterém momentálně článek pracuje. Ideální poloha tohoto bodu je pokud se nachází v bodě MPP. V tomto bodě je článkem dodáván maximální možný výkon, který je počítán jako součet napětí a proudu. Výkon FV článku je ovlivňován mnoha faktory, zejména pak teplotou a množstvím dopadajícího slunečního záření. Z křivky VACh (obrázek 2) je možno vyčíst, že při určitých podmínkách existuje právě jedna hodnota napětí (U_{mpp}) a proudu (I_{mpp}) při nichž je výkon článku maximální. Aby bylo možné články porovnávat byly zavedeny standardizované okolní podmínky při kterých se měří výkonnost článku.

Výkon FV panelů se udává v jednotkách Watt peak (W_p), jedná se o výkon měřený při energetické hustotě slunečního záření 1000 W/m^2 , světelnému spektru které odpovídá průchodu záření bezoblačnou oblohou AM 1,5 a teplotě P-N přechodu 25°C .

Na obrázku 2 jsou zobrazeny následující parametry.

- P_m Maximální výkon, který je schopen článek dodávat.
- I_{mpp} Proud při kterém je dodáván P_m .



Obrázek 2: Vach FV článku

- U_{mpp} Napětí při kterém je dodáván P_m .
- R Vnitřní odpor při kterém je dodáván P_m .

2.7.2 Typy fotovoltaických článků

K výrobě nejběžněji používaných FV článků se používá zejména monokrystalický, polykrystalický případně amorfni křemík.

Nejstarším typem FV článků jsou články vyráběné z monokrystalického křemíku. K výrobě monokrystalických článků se používá nejčastěji Czochralského metoda, spočívající v pomalém tažení monokrystalu z kapalně taveniny vysoce čistého křemíku. Tyto vzniklé ingoty (ingot - váleček) se následně rozřežou na požadované pláty (wafers) a provede se jejich další úprava. Jelikož ingot vznikl z jednoho kusu křemíku, je jeho struktura ucelená a čistá. Mezi výhody monokrystalického článku patří jeho větší účinnost a pomaleji klesající výkon v závislosti na čase, nežli u článku polykrystalického. Naopak nevýhodou je jeho nedokonalý tvar, většinou osmiúhelník a poměrně náročný proces výroby.

Dalším nejběžněji používaným typem FV článků jsou články z polykrystalického křemíku. Při výrobě těchto článků se odlévá čistý křemík do speciálních forem, toto odlévání je mnohem jednodušší metoda a také levnější nežli tažení zárodku monokrystalu. Následně vzniklé ingoty se opět nařežou. Mezi výhody tímto způsobem vyrobených článků patří jejich tvar, kdy je možné docílit jak obdélníkového tak čtvercového tvaru. Také prokazují vyšší účinnost při dopadu difuzního slunečního záření. Velkou nevýhodou je menší účinnost než předešlý typ článku a také horší elektrické vlastnosti, které jsou způsobeny větším odporem na styku jednotlivých krystalových zrn.

Amorfni (tenkovrstvé) články jsou články, které nemají pravidelnou krystalovou strukturu. Proces při výrobě spočívá v nanášení vrstvy vhodných sloučenin křemíku na podklad (plastový, skleněný). Díky tomuto procesu a větší schopnosti absorpce slunečního záření se dají připravit velmi tenké a ohebné FV články. Účinnost těchto článků díky nepravidelné struktuře je nižší, než u obou předchozích typů.

3 Zařízení

Pro sestavení FV systémů se používá celá řada různých zařízení [5, 6]. Jedná se jak o zařízení nutné k chodu FV systému, tak o zařízení určené k jištění celého systému a také o zařízení informativního charakteru. Mezi nejběžněji používané zařízení patří tyto: FV panely, invertory, akumulátory, regulátory, nosné konstrukce, kabeláž, pojistná a měřicí zařízení, odpojovače zátěže.

3.1 Fotovoltaický panel

Jeden FV článek má pro praktické využití velmi nízké hodnoty elektrického napětí, případně elektrického proudu. Proto je vhodné zapojovat více článků sériově nebo paralelně k dosažení lepších elektrických vlastností. Takto zapojené FV články jsou umístěny do FV panelů (modulů) v průhledné fólii (EVA). FV články jsou drahé a komplikované struktury, které jsou právě těmito panely (obrázek 3) chráněny před vnějšími vlivy (počasí, vnik vlhkosti u P-N přechodu, mechanické poškození) a také jsou v těchto panelech lépe instalovatelné.

Na horní stranu FV panelu bývá umístěno kalené sklo, které bývá zpravidla upravené pro lepší propustnost slunečního světla a zvyšuje tak účinnost celého modulu. Rám panelu je vyhotoven z hliníku a slouží zároveň i jako montážní prvek pomocí něhož jsou panely upevněny na nosné konstrukce.

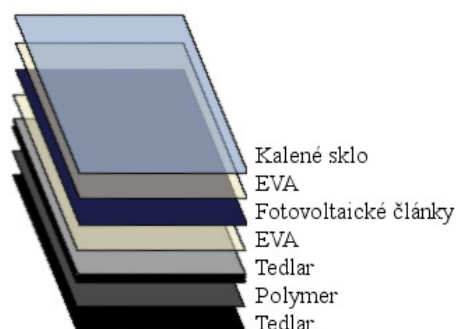
Nejběžněji se dnes vyskytují panely složené z polykrystalických nebo monokrystalických článků. Monokrystalický článek vykazuje obecně větší účinnost než polykrystalický, avšak díky lepšímu využití plochy u polykrystalických panelů (polykrystalický článek je lépe tvarován) jsou panely srovnatelně účinné.

U tenkovrstvých FV článků se požaduje jejich ohebnost, proto nejsou vloženy do pevných modulů, ale do plastových fólií.

3.2 Invertor

FV panely na svém výstupu produkují stejnosměrný proud. Jestliže má FV systém dodávat střídavý proud o požadovaném napětí je nutné použití invertoru. Invertor transformuje elektrický stejnosměrný proud na proud střídavý. Stejnosměrný proud je nejprve přeměněn pomocí spínacích obvodů na proud střídavý a ten je následně transformován na požadované napětí. Invertory jsou používány jak v instalacích typu on-grid, tak off-grid. Každý typ instalace klade na invertor specifické vlastnosti, avšak jejich princip je stejný. U off-grid FV systémů jsou invertory používány k transformaci stejnosměrného napětí z akumulátorů. V on-grid instalacích se používají k transformaci vstupního napětí do elektrorozvodné sítě a využívá se takzvaného „přifázování“. Jedná se o funkci invertoru, která zajišťuje, že výsledné napětí bude dodáváno do rozvodné sítě přesně ve fázi.

Velmi důležitým parametrem invertorů je účinnost přizpůsobení MPP. Na tento parametr má vliv tzv. „MPP tracker“. Jedná se o zařízení, které změnou vnitřního odporu zajišťuje ideální chod invertoru (sleduje bod maximálního výkonu MPP).



Obrázek 3: Složení FV panelu

Invertor má samozřejmě celou řadu dalších funkcí, jako např. monitorovací, ochranné funkce aj. Nejjednodušší invertory dodávají na svém výstupu obdélníkový průběh proudu, který však není příliš vhodný pro spotřebiče. Mnohem vhodnější je průběh lichoběžníkový nebo sinusový, kterým disponují nejkvalitnější invertory na trhu. Invertory je možné rozdělit následovně.

- **Modulový** Každý FV panel má svůj invertor.
- **Centrální** Invertor je určen pro více FV panelů (fotovoltaické pole).
- **Řetězcový** Kombinace předchozích typů.

3.3 Akumulátor

Solární akumulátor bývá používán v autonomních systémech (viz kapitola 5) k udržení elektrické energie v době, kdy je jí díky nízkému množství slunečního svitu nedostatek. Nejedná se o běžné akumulátory (startovací akumulátory automobilů), ale o akumulátory, které disponují jistými vlastnostmi.

- Minimální samovybití,
- nízký minimální nabíjecí proud,
- zvýšená odolnost proti hlubokému vybíjení,
- vhodný pro cyklický provoz.

Mezi nejběžněji používané solární akumulátory [7] se řadí akumulátory olověné a to v různých provedeních. Existuje však i celá řada dalších typů pro různorodé aplikace. Ve speciálních aplikacích nacházejí uplatnění akumulátory nikl-kadmiové (NiCd) nebo nikl-železné (NiFe), pro aplikace s nízkým výkonem jsou vhodné akumulátory nikl-metal hydridové (NiMH).

3.4 Regulátor

Solární akumulátory jsou poměrně nákladná zařízení, u kterých se nesprávným provozováním zkracuje životnost. Regulátor je řídicí zařízení celého autonomního systému. Kabelové vedení z FV panelů, baterií i spotřebičů vede skrze regulátor. Řídí toky elektrického proudu z panelů do baterií a spotřebičů. Regulátor slouží mimo jiné pro řízení průběhu nabíjení a vybíjení akumulátoru a tak zajišťuje jeho ochranu před hlubokým vybitím nebo naopak nadměrným přebitím.

Nabíjení solárního akumulátoru probíhá maximálním proudem a je zahájeno při poklesu napětí akumulátoru na určitou úroveň. Podle typu regulátoru se při dosažení určité napětové úrovně akumulátoru nabíjení přeruší nebo se omezí nabíjecí proud. Při omezení nabíjecího proudu se docílí ve výsledku lépe nabitého akumulátoru; funkci většinou poskytují kvalitnější typy regulátorů. Mezi další významné funkce regulátoru je možnost provozovat FV panely v bodě MPP a využívat tak maximum z dostupné energie panelů a také funkce zamezení zpětného vybíjení akumulátoru přes tyto panely (např. v noci, při špatných klimatických podmínkách).

Pro zamezení hlubokého vybití akumulátoru umožňují regulátory odpojení zátěže (spotřebiče). Ta se odpojuje při určité napětové úrovni měřené na akumulátoru. Olověné akumulátory [3] mají tuto úroveň obvykle 10.5 V. U off-grid typu instalací s invertorem není tato funkce regulátoru nutností, neboť většina inverterů má vlastní logiku řízení odpojení zátěže.

3.5 Stejnosměrný (DC) rozvaděč

Jedná se o zařízení, které nemá přímý vliv na výrobu elektrické energie FV systémem, ale každý kvalitně navržený systém jej obsahuje. Poskytuje tři základní funkce.

- **Spojování stringů** String je název pro více FV panelů zapojených do série. Invertory mají omezený počet vstupů a určité vstupní elektrické podmínky, které musí pole FV panelů splňovat. Stejnosměrný rozvaděč spojuje jednotlivé stringy (paralelně) tak, aby byly dodrženy vstupní elektrické podmínky invertoru.
- **Jištění** FV panely jsou chráněny přepětovými ochranami, aby nedocházelo k jejich poškození v důsledku atmosferických výbojů. Obvykle obsahují další jištění například proti zpětnému proudu, který může nastat v důsledku nefunkčnosti některého ze stringů.
- **Odpojení** V případě poruchy nebo za účelem provádění oprav se požaduje izolování invertoru od pole FV panelů. Většina stejnosměrných rozvaděčů umožňuje odpojit stringy jednotlivě, nebo je možné odpojit celé FV pole panelů najednou.

3.6 Konstrukce

Aplikace FV systémů v městských zástavbách, stejně jako FV farmy na rozsáhlých pozemcích jsou rozmanité a potřebují pro uchycení FV panelů specifické nosné konstrukce. Existuje několik základních typů konstrukcí.

Stacionární konstrukce představují nejběžnější typ konstrukcí. Do těchto konstrukcí jsou FV panely usazeny a jejich pozice je po celou dobu fungování FV systému neměnná. Tyto konstrukce se obvykle vyrábějí z ocelových nebo hliníkových profilů a jsou velmi flexibilní. Obvykle je možné nastavit (při budování) jejich sklon i velikost plochy pro rozdílné rozměry FV panelů. Významné zvýšení denní produkce elektrické energie lze dosáhnout použitím pohyblivých konstrukcí; konstrukce s pevnou základnou a otočným stojanem. U těchto konstrukcí dochází ke sledování slunce a zajištění tak kolmého dopadu slunečního záření na FV panely po celý den. Existují řešení se stojanem otočným kolem jedné nebo i obou os. Energie pro natáčecí mechanismus bývá obvykle dodávána z malého FV panelu umístěného přímo na konstrukci.

Speciálním řešením pro oba typy konstrukcí jsou tzv. „koncentrátory“. Jedná se o optické zařízení, které koncentruje sluneční záření z velké plochy na plochu FV panelů. Rozděluje se do dvou základních kategorií podle typu optického prvku. Jedná se o koncentrátory zrcadlové a čočkové. V praxi se však koncentrátory používají jen zřídka, díky spoustě nevýhod které sebou jejich použití doprovází.

3.7 Vedení (kabeláž)

U elektrického vedení hrají zásadní roli průřez, délka vodiče a jeho ukončení (svorky). Když proud prochází elektrickým vedením dochází k úbytku napětí v důsledku odporu vodiče. To představuje důležitý faktor zejména v systémech s malým nominálním napětím (např. 12 V); protože procentuální úbytek napětí v těchto systémech je mnohem větší nežli v systémech s vyšším nominálním napětím (např. 230 V). Průřez a délka vedení ovlivňují jaký bude úbytek napětí na daném vodiči. FV systémy se navrhují tak, aby vzdálenosti mezi jednotlivými zařízeními byly co nejmenší a docházelo tak k nízkým ztrátám na kabelovém vedení. Jelikož velká část FV systému je ovlivňována přírodními podmínkami, musí mít kabelové vedení vlastnosti k tomuto prostředí určené. Mezi tyto vlastnosti patří odolnost vůči UV záření, odolnost proti povětrnostním vlivům a také musí být použitelné v širokém rozmezí teplot; v letním období je možné na střešních instalacích naměřit teplotu i 70 °C, naproti tomu v zimním období je teplota hluboce pod bodem mrazu.

4 Formy výkupu elektrické energie

Stát v současnosti podporuje výrobu elektrické energie z FV systémů dvěma formami podpory a to výkupní cenou a zeleným bonusem. Tyto formy podpory nelze vzájemně kombinovat, tedy výrobce elektrické energie za pomoci FV systémů je nucen zvolit vždy právě jednu z nich, ale je mu umožněno, jednou ročně změnit jednu formu výkupu za druhou.

4.1 Zelený bonus

Forma podpory, kterou může výrobce využít, jestliže vyrábí elektrickou energii za pomoci FV systému; obecně lze využít zelený bonus při výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Při této formě podpory výrobce získá za všechnu vyrobenou elektrickou energii zelený bonus (prémie za výrobu elektrické energie ekologickým způsobem). Takto vyrobenou elektrickou energii může výrobce spotřebovat nebo ji distribuovat dále (odběrateli).

V praxi se s touto formou podpory nakládá nejčastěji tak, že výrobce této elektrické energie je zároveň jejím spotřebitelem a tedy nenakupuje elektrickou energii od distributora vůbec nebo jen omezeně. V případě, že má elektrické energie dostatek, může přebytky prodávat provozovateli distribuční soustavy nebo koncovému zákazníkovi za cenu na které se dohodnou. Obvykle se této formy podpory využívá při instalacích na budovách (firemní objekty, rodinné domy a podobně).

Zelený bonus (roční) je možné uplatňovat po dobu 20 let a jeho výše je stanovena Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Cena zeleného bonusu není garantována po celou tuto dobu, ale pouze na následující rok (každoročně dochází k úpravám). Od roku 2012 je zaveden také tzv. hodinový zelený bonus.

4.2 Výkupní cena

Jedná se o formu podpory při které je veškerá vyrobená elektrická energie z FV systému dodávána do distribuční soustavy; není možné aby výrobce byl zároveň i spotřebitelem. Výrobce je nucen nakupovat elektrickou energii zpět od distribuční společnosti. Obchodník s elektřinou má ze zákona povinnost tuto elektrickou energii nakoupit za výkupní cenu, která je garantována po dobu 20 let (od zavedení FV systému do provozu) a je opět tak jako v případě zeleného bonusu stanovena ERÚ. Jednou ročně je výkupní bonus u stávajících instalací navýšen o tzv. „inflační doložku“ stanovenou na minimálně 2 % a maximálně 4 %. U nových instalací může výkupní cena každým rokem poklesnout až o 5 %, v určitých případech tomu může být i více. V praxi je nejčastěji tato forma podpory využívána u rozsáhlých instalací (solární farmy).

5 Fotovoltaické systémy

Samotné FV panely obvykle nestačí pro splnění potřeb uživatelů. Na svém výstupu tyto panely produkují stejnosměrný elektrický proud, který je obvykle nutné dále formovat. Pro tyto účely se používá celá řada dalších technických zařízení (viz kapitola 3). FV systémem je tedy nazýván systém složený z FV panelů a dalších podpůrných (technických) zařízení. Množství a použití jednotlivých prvků FV systému je závislé od druhu aplikace a požadavcích uživatele. Tyto systémy se dělí na dvě základní skupiny a to systémy připojené do elektrické sítě a na systémy autonomní.

5.1 Autonomní systémy

Autonomní (off-grid) systémy nacházejí uplatnění v případech, kdy je požadován přísun elektrické energie, kterou není možné získat prostřednictvím distribuční sítě nebo je to značně nevýhodné. Realizace autonomní instalace se stává obvykle výhodnější v případech kdy je rozvodná síť resp. přípojné místo umístěno ve vzdálenosti větší než 500m – 1000m od objektu. Příkladem využití této instalace mohou být odlehlé chalupy, obytné přívěsy, jachty a podobně. V současné době je i na těchto místech požadován přísun elektrické energie, kterou autonomní systémy mohou poskytovat.

U těchto typů instalací, kromě zařízení samotného systému hrají důležitou roli spotřebiče k němu připojené. Spotřebiče by měly být vybírány s ohledem na co nejmenší spotřebu energie a elektrickou kompatibilitu k danému systému; typicky v případě, kdy je spotřebič dimenzován na odlišné elektrické napětí (např. 230 V) než jaké je poskytováno autonomním systémem (obvykle 12 V, 24 V). Zejména u menších instalací je výhodné využít spotřebičů, které je možné připojit přímo k autonomnímu systému a které nepožadují dodatečnou instalaci dalších zařízení (např. invertor).

5.1.1 Systémy s přímým napájením

Autonomní systémy s přímým napájením se používají v případě, kdy nevadí že spotřebiče připojené k tomuto systému jsou funkční pouze v čase dostatečného slunečního záření dopadajícího na FV panely. Typickým příkladem využití může být čerpání vody pro závlahu, nebo nabíjení akumulátorů drobných elektrických zařízení, jako jsou mobilní telefony, notebooky a jiné. Jedná se o velmi jednoduchý systém, kdy celé zapojení je realizováno pomocí FV panelů a spotřebičů. V praxi se ovšem uplatňují spíše instalace s možností akumulace vyrobené elektrické energie, která je v případě jejího nadbytku uchovávána k pozdějšímu využití v akumulátorech.

5.1.2 Systémy s akumulací elektrické energie

Doba po kterou FV panely dodávají na svých výstupních svorkách elektrickou energii se obvykle neshoduje s dobou její potřeby. Příkladem může být potřeba dodávat energii pro osvětlení, které se používá zejména v době nízkého nebo nulového slunečního svitu. Jako

zdroj energie pro osvětlení by bylo vhodné využívat elektrickou energii naakumulovanou z FV panelů v průběhu dne. K uchování vyrobené energie se používají akumulátory konstruované pro pomalé vybíjení a nabíjení. Jelikož životnost akumulátoru je značně závislá na způsobu jeho používání, je do systému zahrnut regulátor nabíjení, který zajišťuje optimální chod akumulátoru.

K této instalaci je možné připojit spotřebič na stejnosměrný elektrický proud s elektrickým napětím obvykle 12 V nebo 24 V. V případě že se požaduje připojení síťového spotřebiče 230 V, je nutné zakomponovat do systému invertor, který je schopen na svých výstupních svorkách tyto elektrické podmínky poskytnout. Invertor je možné zapojit do regulátoru nabíjení nebo přímo na svorky akumulátoru. Tento typ instalace je velmi výhodný v letních měsících, v zimním období však prokazuje značné nedostatky, díky velmi nízkému množství slunečního svitu.

5.1.3 Hybridní ostrovní systémy

Při návrhu FV systému, od kterého bude očekáván celoročně dostatečný přísun elektrické energie pro potřeby uživatelů, se musí kalkulovat s měnícími se klimatickými podmínkami. Systém, který v letním období dodává dostatek elektrické energie už může být v zimním období značně nevyhovující. Jedním ze dvou řešení je dimenzovat tento systém na zimní období, což zahrnuje instalovat větší výkon FV panelů; vzrostou finanční náklady a navíc v letním období bude systém silně předimenzovaný.

Mnohem elegantnějším řešením je tzv. „hybridní systém“, ten vznikne zapojením externího zdroje elektrické energie, který pokryje potřeby uživatelů v obdobích nízkého množství slunečního svitu. Externí zdroj energie se obvykle zapojuje na vstupní svorky regulátoru napětí. Mezi tyto zdroje energie je možné zařadit větrný generátor, vodní elektrárnu a podobně.

5.2 Systémy připojené na distribuční síť

Motivace pro stavbu systémů připojených distribuční sítí (on-grid) jsou odlišné od systémů autonomních. Jednou z možných motivací je ekologie, kdy při výrobě elektrické energie za pomoci tohoto systému nedochází k úniku oxidu uhličitého do ovzduší. Dalším, avšak neméně podstatným je možný velmi vysoký zisk, kterého lze za výhodných podmínek (podpora státu) dosáhnout. Tyto systémy jsou zejména budovány na rodinných domech, průmyslových objektech nebo i na rozsáhlých pozemcích. On-grid systémy pracují ve dvou základních režimech, systémy využívající zelený bonus nebo výkupní cenu.

5.2.1 Systémy výhradně určené k prodeji elektrické energie (výkupní cena)

Tyto typy systémů jsou určeny výhradně k produkci co největšího množství elektrické energie a jejího následného prodeje. Veškerá vyrobená energie je prodávána do distribuční sítě za výkupní cenu. Sluneční zařízení dopadá na FV panely, které začnou produkovat stejnosměrný proud. Tento proud se přes stejnosměrné rozvaděče dostane až k invertoru,

který jej dále formuje. Invertory jsou velmi důležitou součástí, neboť díky jim dochází k tzv. "sfázování" FV systému s distribuční sítí. Za invertorem se nachází elektroměr, který měří množství vyrobené energie, kterou systém dotuje distribuční síť. Na základě dat z elektroměru jsou poté vlastníkově systému vypláceny finanční dotace.

Pro umístění systému se využívají zejména rozsáhlé pozemky s ideálním sklonem. Je-li se jedná svou rozlohou o velmi rozsáhlé stavby, je důležitou součástí těchto systémů jejich zabezpečení. U méně rozsáhlých je bezpečnost většinou řešena oplocením případně dalšími mechanickými zařízeními. U velkých investic představují vandalové případně zloději reálnou a velmi vážnou hrozbu a tak je možné se setkat například i s důmyslnými kamerovými systémy, bezpečnostní službou a podobně.

5.2.2 Systémy pro vlastní spotřebu a prodej přebytků (zelený bonus)

U tohoto způsobu provozu FV systému je do distribuční sítě dodávána (obvykle) pouze část elektrické energie, kterou výrobce není schopen sám spotřebovat. Zapojení a komponenty nejsou příliš odlišné od systému fungujícím v režimu výkupní ceny. Hlavní rozdíl je v umístění elektroměru tzv. „elektroměr výroby“, jehož výstup je napojen do podružného rozvaděče objektu. Z podružného rozvaděče je elektrická energie prvotně dodávána ke spotřebě do objektu.

Při dostatečném množství elektrické energie, která už nemůže být dále v objektu spotřebována, podružný rozvaděč tuto energii přesměruje do distribuční sítě přes čtyřkvadrantní elektroměr. Na základě dat z elektroměru výroby je vlastníkově FV systému vyplácen zelený bonus. Čtyřkvadrantní elektroměr poskytuje informaci o množství dodané energie do distribuční sítě. Na základě dat z tohoto elektroměru je vlastníkově vyplácena smluvená částka s odběratelem. Tyto instalace jsou typické zejména pro rodinné domy.

6 Existující aplikace

K rozvoji fotovoltaiky je zapotřebí i vědních oblastí, které přímo nesouvisí s fotovoltaikou, ale které díky svým odborným znalostem fotovoltaiku podporují a pomáhají k jejímu rozvoji. Jednou z těchto oblastí je i oblast informačních technologií, díky které vzniká velká spousta profesionálních i méně profesionálních aplikací na různých platformách. Aplikace se dají rozdělit do dvou hlavních kategorií.

Do první kategorie spadají profesionální aplikace, které jsou určeny k návrhu FV systému a k různým výpočtům na těchto systémech. Obvykle se jedná o značně komplikované aplikace vyvíjené odbornou společností, která za ně požaduje mnohdy nemalé finanční prostředky. Z těmito aplikacemi pracují obvykle pouze odborníci, kteří dokáží využít plně jejich potenciál.

Druhá kategorie je tvořena spíše aplikacemi zaměřenými na demonstraci ekologie a výnosnosti fotovoltaiky za účelem přilákat co největší množství investorů do této oblasti. Obvykle se těmito aplikacemi pyšní dodavatelé fotovoltaických řešení, kteří se tak snaží jejich produkty či postupy komercializovat. Nejedná se však o nijak přesné aplikace, všechny výpočty jsou prováděny na základě obecných vstupních dat a dávají tak pouze velmi hrubý odhad o budoucím systému.

6.1 Polysun

Polysun je desktopová aplikace která je schopná pracovat ve čtyřech odlišných režimech, mezi které patří *Solární technika*, *Fotovoltaika*, *Tepelné čerpadlo*, *Kombinace těchto systémů*. V této diplomové práci bude popsána aplikace Polysun v demoverzi, která je volně dostupná. Bohužel plná verze aplikace je velmi drahá, ve své nejvyšší konfiguraci se částka pohybuje okolo 1 500 EUR. Tato práce bude popisovat aplikaci pouze v režimu *Fotovoltaika* vztahujícího se nejbližší k tématu práce; v ostatních režimech tvoří fotovoltaika pouze malou část návrhu.

Celý návrh systému v jakémkoli režimu je založen na principu postupného vytváření systému za pomoci tzv. šablon. Šablony představují polotovary návrhu systémů ze kterých si uživatel volí pro něj nejvhodnější a které může nadále dle libosti upravovat. Aplikace obsahuje obsáhlou databázi klimatických podmínek, která čerpá data z 8 000 meteorologických stanic po celém světě. Pozici Slunce aplikace edituje každé čtyři minuty. Vyjma klimatických podmínek je také možno do databáze ukládat nejrůznější data. Mezi nejdůležitější patří FV panely, inventory a kabeláž. U režimu *Fotovoltaika* jsou tři úrovně uživatelských stupňů, mezi kterými uživatel volí dle svých znalostí a schopností.

- **Light** Uživateli je předloženo intuitivní ovládání pomocí nejrůznějších asistentů, množství nabízených šablon je omezené.
- **Professional** Od uživatelského stupně *Light* se tento liší zejména možnostmi vytváření si vlastních uživatelských komponent, také obsahuje četnější množství nabízených šablon a detailněji zpracovaný návrh systému.

- **Designer** Jedná se o nejdůmyslnější uživatelský režim s nejčtetnějším množstvím šablon. Tento režim je podobný režimu *Professional*, avšak poskytuje možnost modulární konstrukce vytvářených systémů (na vytvářený systém je pohlíženo jako na stavebnici do které je možné přidávat různé části a také tyto části odebírat).

At' už uživatel zvolí kterýkoli z nabízených uživatelských stupňů, bude vždy prvním krokem návrhu tzv. „definice projektu“, kde jsou uváděny vstupní obecné parametry jako jsou název a popis projektu. V tomto kroku také dochází k výběru stanoviště budovaného systému. Stanoviště je možné volit buď z vlastní databáze aplikace (v rámci České republiky jsou uloženy pouze největší města jako Praha, Brno a podobně) nebo za pomoci GPS souřadnic, jestliže tyto uživatel nezná, je možné je nahrát z interaktivní mapy; toto řešení vyžaduje připojení k internetu.

Dalším krokem je výběr šablony budovaného systému. Volba probíhá velmi jednoduše, ze seznamu si uživatel volí právě tu, která jeho představám vyhovuje nejlépe. Při velkém množství šablon je možné šablony filtrovat podle velikosti systému, kolektorového pole a také dle zdroje šablon (firma schopná tuto šablonu realizovat). Velmi užitečnou funkcí je při výběru šablony její blokové zobrazení, které dává uživateli obecnou představu o budovaném systému.

6.1.1 Návrh FV systému

V rámci této diplomové práce bude popsán návrh FV systému v uživatelském stupni *Designer*. Po vyplnění obecných údajů se uživatel dostane k samotnému návrhu systému. Tento uživatelský stupeň zahrnuje několik na sebe navazujících kroků vedoucích až k sestavení kompletního systému včetně simulace jeho provozu. Tyto kroky jsou: Projekt, Šablona, FV pole panelů, Dimenzování fotovoltaiiky, FV kabel, Zkouška fotovoltaiiky, Shrnutí. Projekt a šablona jsou kroky popsány v této kapitole výše.

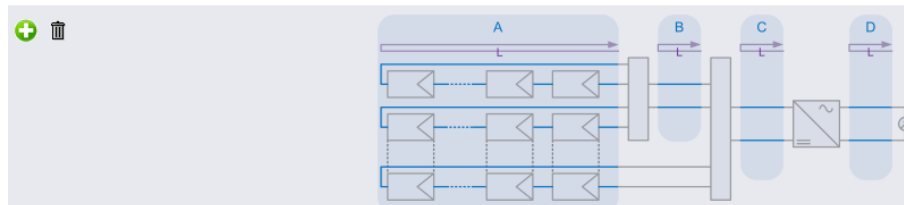
FV pole panelů Jedná se o třetí část návrhu v které je definováno FV pole panelů. Vyplňuje se zde pouze několik základních parametrů jako je počet, orientace, úhel sklonu a typ panelu, který je volen z vlastní databáze aplikace. Jedno FV pole panelů může obsahovat pouze jeden typ FV panelu. Mezi další parametry volené v této části návrhu patří minimální a maximální teplota panelu, kterou může uživatel určit dle svého uvážení nebo může být vypočítána z údajů o počasí z místa určení navrhovaného systému.

Dimenzování fotovoltaiiky K FV poli panelů je nutné navrhnout vhodné invertory, což právě zajišťuje krok návrhu *Dimenzování fotovoltaiiky*. Aplikace vytvoří automaticky seznam vhodných invertorů a jejich zapojení k FV panelům. Z tohoto seznamu pak uživatel volí pro něj nejvhodnější. K jednomu konkrétnímu FV poli panelů mohou být vygenerovány až tři typy odlišných invertorů v různých počtech. U invertorů je uváděn jejich počet, využití a zapojení FV pole resp. počet panelů umístěných na fázi.

Do této části je také zařazen filtr pomocí kterého je možné mezi vygenerovanými invertory vymezit právě ty, které uživatele nejvíce zajímají. Mezi parametry vyhledávání patří součinitele výkonu, výrobce invertoru nebo maximální počet různých typů střídače.

Fotovoltaiický kabel Krok návrhu *Fotovoltaiický kabel* se zabývá podrobně návrhem kabelového vedení. Uživatel volí mezi dvěma možnými metodami výpočtu: *Ztrátový*

Úsek	Kabel	Vedení proudu	N fází	Délka [m]	Množství	Počet	Celková délka
1	Fotovoltaický kabel 4mm2	Fáze		20	Vypočítat	1	20.0
2	Fotovoltaický kabel 4mm2	Střídač AC		2	Vypočítat	1	2.0



Obrázek 4: Část návrhu FV kabel - Kabelové úseky

součinitel a *Kabelové úseky* (viz obrázek 4). V případě zvolení varianty *Ztrátový součinitel* bude kabeláž do systému vygenerována automaticky aplikací; uživatel nemůže výpočet kabelového vedení nijak ovlivnit, pouze určí maximální přípustné ztráty na vedení v procentech.

Varianta *Kabelové úseky* uživatele zapojí do návrhu kabeláže a ten má tak plně pod kontrolou kabelového vedení svého systému. Při této variantě se uživateli zobrazí obecné blokové schéma FV systému rozdělené do těchto úseků.

- **Fáze** Úsek popisuje kabelové vedení FV pole panelů. Kabeláž je v tomto úseku dimenzována podle jednoho stringu FV panelů.
- **N Fáze** V případě, kdy uživatel do systému chce zařadit DC rozvaděč je nutné vypočítat elektrické parametry více stringů FV panelů dohromady. Počet stringů, které budou spojeny je možné určit.
- **Invertor DC** Úsek mezi DC rozvaděčem a invertorem. Elektrický proud na který je kabeláž dimenzována odpovídá proudu na vstupu invertoru.
- **Invertor AC** Jedná se o kabelové vedení umístěné na výstupní AC straně invertoru. Tato kabeláž je dimenzována na AC proud invertoru.

Do každého jednotlivého úseku je možné přidávat kabeláž, která je volena z databáze aplikace. Takto přidanou kabeláž je možné dále rozdělit na jednotlivé části; počet částí není nijak omezen. Toto rozdělení může uživatel realizovat dle svého uvážení, nebo jej ponechat na logice aplikace, která rozdělí přidanou kabeláž na části automaticky.

Zkouška fotovoltaiky Je zobrazena tabulka elektrických hodnot dimenzování, která vyjadřuje správnost nadimenzování systému. Tabulka je velmi přehledná s jednoduchým principem, pakliže daný parametr splňuje podmínky dimenzování, je uživatel upozorněn zelenou značkou, jinak červenou.

Sumarizace Jedná se o zdaleka nejrozsáhlejší krok, který obsahuje statistické údaje o vytvořeném FV systému. Při vstupu do této části je automaticky spuštěna simulace, po jejím ukončení je zobrazena základní tabulka obsahující srovnání množství vyrobené energie za jednotlivé roky a to jak na AC tak i DC straně invertoru. Po prozkoumání tabulky je již uživatel přesměrován na samotnou obrazovku sumarizace svého systému.

Výsledek přehledu	Vyhodnocení množství vyrobené energie za jeden rok na dvanáct budoucích let.
Hospodárnost	Analýza pořizovacích a provozních nákladů. Analýza probíhá na uživatelem vložených hodnotách. Jedná se o samostatnou kalkulaci, která není nijak vázána na výsledný systém.
Výsledky systému	Podobná funkce jako Výsledek přehledu, ale poskytuje dodatečné informace, například množství uspořené CO ₂ .
Výsledky komponent	Analýza jednotlivých komponent ročně. U FV panelu eviduje výkon, minimální a maximální teplotu panelu a jeho účinnost. U invertoru účinnost a množství vyrobené elektrické energie. Také analyzuje ztráty na kabelech.
Tabulkové vyhodnocení	Tabulkové znázornění všech hodinových hodnot na jeden rok (např. povětrnostní údaje, ztráty na kabelech, teplotu modulu).
Grafické vyhodnocení	Tabulkové vyhodnocení zanesené do grafu.
Diagram energetického toku	Grafické znázornění energetických toků. Za pomoci grafu znázorněn rozdíl mezi vyrobenou energií na DC a AC straně invertoru.

Tabulka 1: Výsledky poskytované v sumarizační části

Sumarizační obrazovka se dělí na dva hlavní segmenty. První segment představuje aktivní část obrazovky, ve které je možno modulárně doplňovat FV systém o další varianty šablon. Druhý segment slouží pro přehled komplexního projektu v rámci něhož je systém navrhován. V tomto segmentu jsou nejdůležitějšími sekcemi *Přehled projektu* a *Stanoviště zařízení*.

Přehled projektu podává obecné informace o celém projektu a jedná se spíše o popisnou část. Zajímavou funkcí je možnost nahrání vlastní fotografie například z budoucího stanoviště FV systému.

Stanoviště zařízení zobrazuje údaje o umístění uživatelem budovaného systému. Také obsahuje údaje o počasí, které je možné importovat z konkrétního stanoviště nebo pokud uživatel tyto hodnoty má k dispozici může je do aplikace doplnit. Velmi praktickou funkcí je možnost simulace pohybu Slunce po obloze a to 24 hodin denně po celý rok. Je nutné pouze zadat body horizontu (opět možnost volby doplnění údajů uživatelem nebo import z databáze aplikace). Za pomoci bodů horizontu a posuvníků dnů a času je tuto simulaci možné spustit. Posledními volenými parametry v segmentu *Stanoviště zařízení* jsou elektrické napětí a frekvence, ke kterým bude budovaný systém připojen.

Nejdůležitější v sumarizační části jsou však výsledné statistiky. Aplikace poskytuje množství výsledků (tabulka 1) týkající se jak elektrických tak i ekonomických parametrů. Veškeré výsledky je možné rovněž exportovat do dokumentů různých formátů (PDF, MS WORD, MS PowerPoint, HTML).

Klady	Zápory
Obsáhlá vlastní databáze komponent	GUI
Uživatelské stupně	Pouze on-grid typy systémů
Princip šablon	Aplikace nepohlíží na systém jako na komplexní celek
Dostupná demoverze	Uživatel nemá přílišnou kontrolu nad budovaným systémem
Podpora	Ekonomická simulace
Postupný návrh systému	Nepřehlednost celé aplikace
	Spousta zbytečných výpočtů, jejichž výsledky nejsou pro běžného uživatele zajímavé
	Cena

Tabulka 2: Klady a zápory aplikace Polysun

6.1.2 Shrnutí

Aplikace je velmi rozsáhlá (čtyři typy systému) a také dobře podporována. Bohužel režim *Fotovoltaika* se nezdá být hlavním režimem, kterému by vývojáři věnovali nejvíce času. Obsahuje poměrně značné množství nedokonalostí, ale také i velmi zajímavých myšlenek (princip šablon).

Aplikace v režimu *Fotovoltaika* při návrhu FV systému zohledňuje základní typy komponent a také se zabývá pouze elektrickou „politikou“ budovaného systému; chybí podrobnější analýza ekonomických výsledků. Funkce analyzující ekonomické výsledky systému je funkcí samostatnou a není tedy nijak vázána na budovaný systém. Databáze komponent je velmi rozsáhlá, avšak chybí dodatečné informace o dostupnosti evidované komponenty. Velkou výhodou aplikace jsou uživatelské stupně. Bohužel celá aplikace je zaobalena do nepříliš vkusného grafického uživatelského rozhraní (GUI), s čímž souvisí i její přehlednost.

Tabulka 2 obsahuje shrnutí kladů a záporů aplikace Polysun.

6.2 PV*SOL

Jedná se o profesionálně zpracovanou desktopovou aplikaci určenou k návrhu, kalkulaci a simulaci FV systémů s možností 3D vizualizace objektů. FV systém není popisován a kalkulován pouze z hlediska fyzikálních veličin, ale v aplikaci je obsažen modul zajišťující ekonomické výpočty celého systému. V rámci aplikace je využíván modul GEMIS (počítačový program pro analýzy produkce škodlivých emisí a odpadů).

PV*SOL obsahuje modul MeteoSyn, který poskytuje rozsáhlé množství klimatických dat získaných ze stovek meteorologických stanic rozmístěných napříč celou Zeměkoulí. Obsahuje obrovskou databázi míst a jejich klimatických podmínek, jestliže i přesto uživatel nenalezne své konkrétní stanoviště může si jej definovat a to i s pomocí modulu GEMIS. Pro usnadnění vyhledávání konkrétních míst obsahuje MeteoSyn možnost vyhledávání za pomoci přehledné interaktivní mapy nebo PSČ.

Aplikace se pyšní velmi rozsáhlou databází, kam je možné ukládat jak komponenty, tak i další elementy týkající se návrhu FV systému (např. úvěr, spotřebiče, znečištění ovzduší a další). Z komponent jsou v databázi zahrnuty FV panely, inventory typů on-grid i off-grid a akumulátory. Zejména velký důraz je kladen na FV panely u kterých jsou evidovány velmi detailní atributy, které umožňují aplikaci generovat různé grafy tyto panely popisující. Databáze je denně aktualizována a při spuštění aplikace je synchronizována pro konkrétní instalaci aplikace.

Aplikace je dodávána ve třech stupních obtížnosti a propracovanosti návrhu FV systému: *express*, *pro*, *expert*, tyto stupně jsou vlastně tři samostatné aplikace. Všechny stupně jsou dostupné pod placenou licenci, kdy jejich cena se pohybuje ve stovkách amerických dolarů. Pro důkladnější popis v rámci této diplomové práce byl vybrán uživatelský stupeň *expert* v licenční verzi *trial*. Každou z verzí je možné pod touto licencí bezplatně odzkoušet. Omezení se ve verzích *trial* vztahuje zejména na komponenty, kdy uživatel může do FV systému přidávat pouze jeden typ komponenty každého z druhů. Tedy pro testování aplikace se nejedná o výrazné omezení funkčnosti a je ji tak možné plně odzkoušet.

Verze *express* je nejjednodušší dostupnou verzí a je vhodná zejména pro obchodní manažery a ke školení techniků, kteří potřebují spolehlivý nástroj pro návrh on-grid systémů. V rámci této verze je možné navrhovat pouze on-grid FV systémy do velikosti 300 kW. Samotná tvorba FV systému je zde řešena pomocí interaktivního průvodce, kdy v několika na sebe navazujících krocích je vytvořen výsledný systém. Mezi nejdůležitější podporované dovednosti patří:

- Kalkulace on-grid FV systému.
- Testování interakce mezi FV panely a inventory (vzájemné propojení těchto komponent).
- U kalkulací bere v potaz i různé překážky jako např. okna, komíny a podobně.
- Výběr z několika předdefinovaných scénářů stínění.
- Jednoduchá projekční zpráva o přehledu systému.
- Automatické určení počtu FV panelů v závislosti na výkonu nebo na základě rozvržení panelů na konkrétní ploše.
- Jednoduchý ekonomický model.

Verze *pro* je nejpobulárnější verzí PV*SOL pro podrobný návrh a simulaci on-grid nebo off-grid komplexních FV systémů až do velikosti 100 MW. Je možné vytvořit až šest různých FV polí z nichž každé může být navrženo na základě různých parametrů (orientace, FV panely, inventory, ztráty). Nejdůležitější podporované dovednosti:

- Kalkulace on-grid nebo off-grid FV systému.
- Kalkulace multi-stringových inverterů s odpovídajícím počtem MPP trackerů a různých stringových konfigurací.



Obrázek 5: Fotorealistický plán vlastní střechy

- Kontrola všech fyzikálních kritérií FV systému při jeho návrhu.
- Tvorba profesionálních projektových zpráv s přehledným grafickým zpracováním.
- Stanový počet FV panelů a jejich rozvržení, pro konkrétní rozlohu střechy.
- Propracovaný ekonomický model.
- Importem referenčních rozměrů a fotografie objektu do aplikace je možné vytvořit fotorealistický plán vlastní střechy (obrázek 5).

Verze *expert* představuje nejsofistikovanější verzi aplikace PV*SOL. Jsou v ní poskytovány všechny funkce, které jsou obsaženy již ve verzi *pro* a navíc je zde umožněna 3D vizualizace objektů, čímž je zajištěna podrobná analýza zastínění. Dovednosti:

- Rozložení stínu mezi jednotlivými FV panely.
- Optimalizace FV panelu s využitím těchto informací.
- Vytvoření přesné 3D simulace stínění přes den nebo za rok.
- Importování fotografií do aplikace a jejich následné využití při návrhu systému.
- Kalkulace s okolními objekty (komín, okna) s mnohem větší přesností než u předešlé verze aplikace.

6.2.1 Návrh FV systému

Ve stupni obtížnosti *expert* není uživatel veden předem definovanými kroky k sestavení FV systému, ale je mu dána určitá volnost a je tedy na konkrétním uživateli jak návrh FV systému „uchopí“. V této verzi je možné navrhovat jak on-grid, tak i off-grid systémy a to pomocí méně nebo více důkladného návrhu, také je možné zvolit k rozvržení FV polí 3D vizualizaci objektů. Komponenty které jsou do návrhu přidávány jsou komponenty reálné, tedy takové které jsou „běžně“ na trhu s fotovoltaikou dostupné.

3D vizualizace S velkou pravděpodobností bude pro většinu uživatelů právě tato část představovat počáteční fázi návrhu FV systémů. Dochází zde k modelování objektů na kterých mají být FV panely rozmístěny a také k modelování jejich blízkého okolí. Modelování objektů na ploše je řešeno za pomoci tzv. „drag and drop“ způsobu, kdy stačí

objekt z nabídky přetáhnout na místo určení na modelované ploše. Mezi základní objekty, které je možné modelovat patří stromy, budovy a obecná překážka. Každému s přidáných objektů může být editováno jeho jméno, což napomáhá při orientaci v projektu.

Aplikace u stromových objektů odlišuje jehličnan od stromu listnatého. U těchto objektů je možné modifikovat nezávisle rozměry koruny stromu, kmene a samotného objektu jako celku. Velice zajímavou funkcí je možnost pro každý objekt stromu nezávisle nastavit množství slunečního svitu, které tento objekt propustí pro každý kalendářní měsíc.

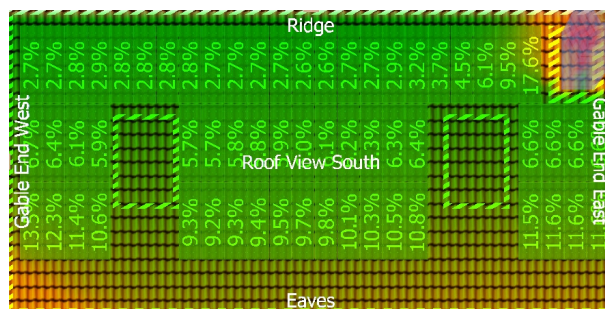
Možnostem modelování budov byla věnována velká pozornost, jejich modelování je propracované do nejmenších detailů. Uživatel může volit mezi sedmi základními typy budov, které se od sebe liší zejména profilem střechy. Stejně jako u objektů stromů je i zde možné nastavit různé rozměry domu. Samostatnou kapitolou objektů domů pak představuje modelování střech. Na ty je možné umisťovat další objekty jako jsou například komíny, různé typy střešních oken, dokonce i satelity a další. Všechny tyto objekty jsou poté zahrnuty do simulaci stínování.

Jestliže uživatel již má všechny potřebné objekty správně namodelovány může přejít k samotnému rozmístování FV panelů, které mohou, ale nemusí být umístěny na nosných konstrukcích. Tyto mohou být rozmístěny automaticky nebo manuálně uživatelem. Při manuálním rozmístění uživatel přidává jeden FV panel za druhým na jakékoli volné místo střechy, při automatickém rozvržení FV panelů uživatel pouze zvolí jak horizontální tak vertikální vzdálenost mezi jednotlivými FV panely a ty jsou pak aplikací rozmístěny automaticky s ohledem na předem rozvržené překážky. U rozvržených FV panelů je možné zobrazit jejich procentuální zastínění (obrázek 6) okolními objekty v součtu za jeden rok.

Poslední fází v tomto modulu, která zde uživatele čeká je konfigurace FV panelů k jednotlivým invertorům. Celá konfigurace spočívá v přidělování částí FV pole panelů k invertorům. Aplikace zjistí zdali je dané FV pole panelů vhodné pro konkrétní invertor a to v jakékoli konfiguraci tzn. aplikace automaticky rozdělí požadovanou část FV pole panelů do konkrétních stringů. Jednotlivé části FV systému jsou přehledně od sebe barevně odlišeny. Samozřejmě tuto konfiguraci může uživatel ovlivnit dalšími požadavky; například požadavkem na maximální počet stejných invertorů, nebo snížit přísnost kritérií dané konfigurace a podobně.

Pro ověření správnosti návrhu umožňuje aplikace spustit simulaci chodu Slunce po obloze na celý kalendářní rok; jedná se o velmi efektivní možnost simulace. Nyní již uživatel dokončil návrh základní části v rámci *3D vizualizace* a může vrátit zpět do okna hlavní aplikace, kam jsou data z 3D vizualizace importována a na základě kterých je zobrazeno modulární schéma navrhovaného FV systému.

Ztráty V této části nedochází k výpočtům samotných ztrát, ale k nastavení parametrů, které ztráty ovlivňují. Ty jsou nastaveny pro každé FV pole panelů odděleně. Aplikace neuvažuje ztráty FV systému zapříčiněné pouze vlivem kabelového vedení, ale i ztráty které jsou způsobené mnoha dalšími faktory. Mezi tyto faktory patří například výška FV panelů nad zemí, typ instalace (volně stojící, s ventilátorem, bez ventilátoru), znečištění



Obrázek 6: Procentuální zastínění FV panelů

ovzduší a podobně. Velká pozornost je věnována hodnotě albeda¹, tuto hodnotu je možné nastavit pro každý měsíc odlišně.

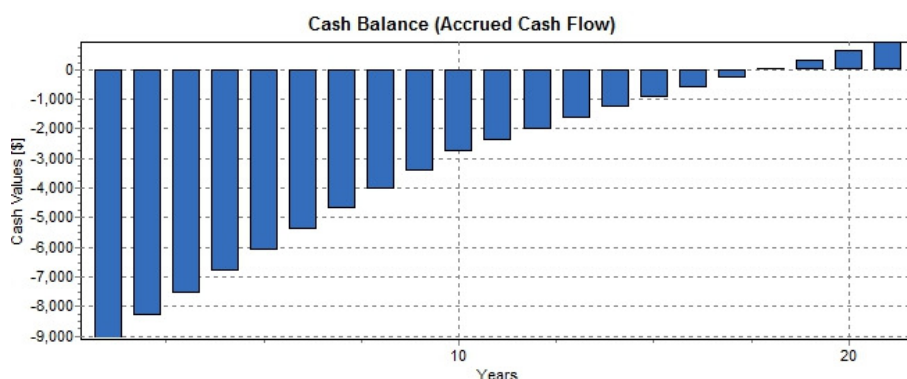
Kontrola systému V této části návrhu uživatel pouze kontroluje doposud vytvořený FV systém, stejně jako v případě části *Ztráty* (kapitola 6.2.1) je i tato část rozdělena pro každé FV pole panelů odděleně. Navrhovaný systém je kontrolován na interakci mezi FV polem panelů a invertory. Je kontrolováno těchto pět základních vlastností u kterých si uživatel může zvolit okolnosti při kterých budou testovány (např. teplota).

- **Výstupní výkon** Ověření zdali se výkon FV pole panelů pohybuje ve vhodném rozmezí výkonu invertoru.
- **Rozsah U_{mpp}** U_{mpp} FV panelů musí být v rozmezí U_{mpp} rozsahu invertoru.
- **Maximální proud I_{mpp}** FV zapojení musí být menší než maximální vstupní elektrický proud invertoru a také kabelového vedení.
- **Maximální napětí U_o** FV panelu je ověřováno jednak vůči maximálnímu vstupnímu elektrickému napětí invertoru, tak i maximálnímu elektrickému napětí FV panelů (U_{sys}).
- **Nesymetrické zatížení**

Tímto bodem končí navrhování FV systému jako takového a uživatel přechází plynule k jeho simulaci. Výsledkem simulace jsou, jak zprávy týkající se ekonomického výnosu, tak i zprávy popisující fyzikální vlastnosti navrženého systému. Popis fyzikálních vlastností je velmi jednoduchý a je popsán v části *Roční energetická spotřeba* za pomoci několika základních atributů. Tyto fyzikální veličiny, stejně tak jako klimatické data je možné zobrazit i ve formě grafů a to v části *Grafy*, která obsahuje rozsáhlé množství různých grafů.

Kalkulace ekonomické efektivity Stěžejním kritériem každého FV systému je jeho ekonomická efektivity, tato je počítána právě v této části návrhu. Kalkulace ekonomické efektivity je do aplikace vložena jako rozšiřující modul, stejně tak, jako byla část *3D vizualizace*. Pro správnou simulaci ekonomické efektivity navrženého systému je nutné,

¹ Albedo nebo také koeficient odrazu je míra odrazivosti tělesa nebo jeho povrchu [5].



Obrázek 7: Graf zobrazující ekonomické výsledky FV systému

aby uživatel postupně prošel několik kroků, které jsou za sebou logicky řazeny. Následuje popis jednotlivých kroků.

Technické vstupní informace Úvodní součást ekonomické simulace, ve které jsou zadávány obecné informace o FV systému. V případě že je ekonomická simulace součástí návrhu FV systému je většina informací v této části vyplněna automaticky samotnou aplikací.

Obecné parametry Zde jsou po uživateli vyžadovány informace na kolik let má být simulace spuštěna a průměrná roční návratnost kapitálu.

Příjmy a výdaje Představují velmi podrobně zpracovanou část ekonomické simulace, ve které jsou pokryty příjmy a výdaje týkající se FV systému. Mezi tyto údaje patří například: dotace, investice, provozní náklady a další. U každého z údajů je možné detailně vyplňovat z jakých jednotlivých položek se daný údaj skládá; například provozní náklady mohou být složeny z položek jako je pronájem hlídací služby, nutnost revizí a podobně. Aplikace uvažuje i s možnou inflací, která je také nastavitelná uživatelem.

Financování Tato část pokrývá nedílnou součást FV systémů a to jsou úvěry. Uživatel může nastavit až tři odlišné úvěry pro jeden FV systém. U těchto úvěrů jsou vyplňovány běžné informace, jako jsou období, úrok z úvěru a podobně.

Daň Zde dochází k určení několika atributů týkající se tzv. „daně z příjmů“. Například je umožněno nastavení lineárního nebo degresivního znehodnocování.

Ekonomické výsledky Závěrečná část ve které již uživatel pouze prohlíží ekonomickou efektivnost FV systému. Část je rozdělena na tři sekce: grafy, tabulky a zprávy. Ve zprávách je umožněn tisk PDF souborů, které zahrnují veškeré výsledky získané při simulaci. Tabulky a grafy zobrazují stejné výsledky pouze je jinak interpretují. Ukázka jednoho z grafů je na obrázku 7.

6.2.2 Shrnutí

PV*SOL aplikace je dostupná ve třech verzích obtížnosti návrhu FV systému, čímž se přizpůsobí požadavkům různě „fotovoltaicky“ zdatných uživatelů. Disponuje rozsáhlou databází komponent, ve které jsou obsaženy nejnужnější zařízení pro stavbu FV systému.

Klady	Zápory
Obsáhlá vlastní databáze komponent	Občasné výpadky aplikace
Uživatelské stupně	Cena
Dostupná trial licence	Omezené množství elektrických informací
Podpora	
3D vizualizace	
Reportování výsledku	
Simulace stínu	
Ekonomické kalkulace	

Tabulka 3: Klady a zápory aplikace PV*SOL

U jednotlivých zařízení zejména pak u FV panelů je evidováno značné množství atributů, které podávají velmi detailní informace o každém z panelů.

Značnou výhodou aplikace je možnost 3D vizualizace, tato funkce je detailně propracovaná a umožňuje uživateli přesně simulovat umístění navrhovaného systému v reálném světě. V případě že je uživatel zdatný i v navrhování FV systému z pohledu zapojení mezi FV panely a invertorem může si v této části nadimenzovat svůj navrhovaný systém dle vlastních zkušeností a potřeb. PV*SOL obsahuje také model ekonomický, který je poměrně sofistikovaný, avšak občas působí dosti nepřehledně.

Bohužel k plnohodnotnému využití aplikace je nutné ji vlastnit v placené licenci. Cena jednotlivých verzí je různá, ale ve verzi *expert* (nejdůmyslnější verze) se pohybuje něco málo nad hranicí 1 200 EUR. Avšak zdá se, že cena odpovídá kvalitě, ta se projevuje i v podpoře aplikace a v množství aktualizací, zejména pak v aktualizacích databáze a meteorologických statistik. Při testování občas docházelo k tzv. „zamrznutí“ případně i pádu aplikace. Grafické prostředí PV*SOL je přehledné a uživatel si velmi rychle zvykne na jeho používání.

Výsledky podávané aplikací jsou hlavně z ekonomického směru kvalitní a rozsáhlé, naopak kvalitních a dostatečných informací se uživatel nedočká z hlediska fyzikálních výsledků. Veškeré výsledky je možné exportovat do PDF souborů spolu s modulárním schématem celého FV systému. Shrnutí aplikace popisuje tabulka 3.

6.3 PV Professional

Desktopová aplikace, která je určená spíše k vytváření projektových zpráv než k podrobné analýze a návrhu FV systému. Uživatelé pracující s aplikací, by měli znát problematiku FV systémů, neboť samotná aplikace příliš uživatelům návrh neusnadňuje. PV Professional je dostupný ve třech placených licencích lišící se velikostí FV systému, které lze v dané licenci navrhovat. Cena nejvyšší konfigurace se pohybuje těsně nad hranicí 2 000 EUR. Aplikace obsahuje databázi komponent, avšak ta je značně nedostačující z hlediska počtu evidovaných komponent, tak i z hlediska počtu evidovaných atributů u jednotlivých záznamů. Do databáze je možné ukládat pouze FV panely, inventory a jejich výrobcu.

Aplikace postrádá jakýkoli model analýzy výsledků navrženého systému. Nelze simulovat FV systém, jak z pohledu fyzikálních veličin (výkonu, rozměrech a podobně), tak chybí také simulace ekonomické výnosnosti. Ekonomická část v aplikaci je reprezentována pouze seznamem počátečních nákladů.

Za pomoci PV Professional je možné navrhovat pouze on-grid typy FV systému. Aplikace poskytuje tři základní funkce:

- **Správa FV panelů** Je možné přidávat, odebírat a také editovat jednotlivé FV panely i jejich výrobce. Prohlížení jednotlivých záznamů je řešeno za pomoci tabulky, která je ale dosti nepřehledná. Pojmenování sloupců tabulky je zmatečné. Jedním z důvodů je, že při nastavení jazyka aplikace na anglický zůstaly tyto názvy nadále v jazyce německém, ten představuje výchozí jazykové nastavení aplikace.
- **Správa invertorů** Stejně jako v předchozí části i zde je možné provádět běžné operace se záznamy. Navíc je zde umožněno k invertorům přiřadit zapojení FV panelů; minimální a maximální počet FV panelů vhodných pro daný invertor a také počet možných stringů FV pole panelů. Toto zapojení není aplikací nijak ověřováno a uživatel neznalý problematiky může tak do aplikace vložit matoucí záznamy, které ve výsledku vedou k nereálným projektům.
- **Návrh FV systému**

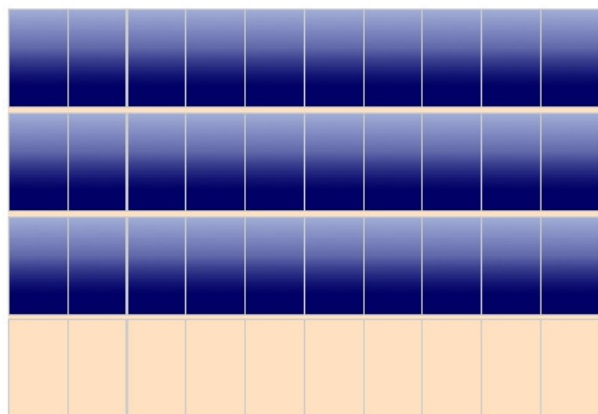
6.3.1 Návrh FV systému

V rámci této diplomové práce bude popsán návrh FV systému v licenční verzi trial, tato je volně dostupná s 30 denní lhůtou na odzkoušení. Verze trial nepředstavuje u aplikace žádné omezení týkající se poskytovaných funkcí a tím je umožněno její plnohodnotné otestování. Princip utváření FV systému je stejný jako u aplikace Polysun (viz kapitola 6.1), tedy pomocí několika na sebe navazujících kroků, které vedou k jeho sestavení. Téměř každý krok budování je doprovázen grafickým vyjádřením právě řešeného problému.

Do aplikace je možné vložit kontaktní údaje, které jsou posléze vkládány do výsledných projekčních zpráv všech navrhovaných systémů.

Projektová data Počáteční fáze budování FV systému ve které nedochází k samotnému návrhu, ale pouze k vyplnění základních údajů o projektu. Také se zde nachází oblast, ve které je možné zachytit strukturu projektu pomocí tzv. „stromové“ struktury známé ze souborových manažerů. Struktura zachycuje jak administrativní část projektu, tak i zapojení jednotlivých komponent. Je otázkou zdali tato funkce aplikace je uživateli ku prospěchu.

Základní plocha (plocha FV systému) V této části je primárním úkolem uživatele vytyčit plochu na kterou budou později kladeny FV panely. Uživatel pomocí atributů šířky, výšky a sklonu definuje právě tuto plochu, která je zároveň interaktivně graficky znázorňována. Plocha může být pouze obdélníkového případně čtvercového tvaru a je možné ji různě natáčet ve vodorovné ose. U jednotlivých ploch je možné nastavit také odsazení od okrajů, toto odsazení může v reálném světě představovat například střešní okapy. Velice potřebnou funkcí je možnost vytyčit na dané ploše oblast, kam nebude



Obrázek 8: Plocha FV panelů

možné FV panely pokládat; tuto oblast je možné si představit například jako komín, střešní okno a podobně. Každou s takto kladených oblastí je možné libovolně pojmenovat, čímž se zachová přehlednost utvářené plochy.

Uživatel může volit z několika předdefinovaných typů ploch: plochá střecha, střecha s podporou / bez podpory konstrukcí a otevřené prostranství.

Určení FV panelů Prvním krokem který v části návrhu *Určení FV panelů* musí uživatel provést je volba typu FV panelu, který bude používat ve svém navrhovaném systému; typů těchto panelů může být v každém utvářeném systému více. FV panely mohou být rozmístěny buď vertikálně nebo horizontálně, záleží na volbě konkrétního uživatele. Jakmile již uživatel vybral typ FV panelu, může aplikace tyto panely automaticky rozmístit na v předchozím kroku vytvořenou plochu (viz obrázek 8). Při automatickém rozmísťování FV panelů, aplikace vždy umístí na danou plochu jejich maximální počet. V případech, kdy požaduje uživatel kontrolu nad rozmísťováním těchto panelů podporuje aplikace i rozmístění manuální, které je tak plně v režii uživatele.

PV Professional umožňuje nastavení vzdálenosti mezi jednotlivými FV panely, jedná se o velmi zdařilou funkci dobře využitelnou při praktických realizacích. Aplikace také umožňuje zvolit úhel zastínění FV pole panelů a to buď manuálně (pokliže uživatel tento úhel zná), nebo pomocí velmi jednoduché interaktivní mapy, bohužel ta je poskytována pouze pro oblast Německa.

Invertor Účelem části návrhu *Invertor* je přiřadit FV panely k jednotlivým invertorům. Přiřazování však nekalkuluje aplikace automatizovaně, nýbrž podle předem vložených záznamů uživatele. Tyto záznamy se vkládají do aplikace manuálně a nejsou nijak ověřovány. Při výběru vhodných invertorů aplikace nabídne seznam právě těch, kterým bylo přiřazeno zapojení mezi právě těmito dvěma zařízeními (FV panel - invertor). Pro jeden typ FV panelu a invertoru může aplikace nabídnout více variant zapojení, to se odvíjí od hodnot maximálního a minimálního počtu FV panelů pro daný invertor; tyto hodnoty zadávají opět uživatelem ve funkci *Správa invertorů*.

Uživatel zvolená konkrétní zapojení jsou vykreslována v podobě blokového schématu na obrazovku. Blokové schéma je možné modifikovat, respektive počet FV panelů v každém stringu. Opět modifikace není žádným způsobem kontrolována aplikací a tak je možné nastavit naprosto nereálné hodnoty, které vedou k sestavení nesmyslných zapojení a v praxi především nefunkčních.

AC připojení Aplikace vygeneruje automaticky blokové schéma AC části zapojení FV systému. V tomto schématu jsou zachyceny tyto bloky AC zapojení: invertory a jejich připojení na fázi, pojistková skříň, kabelové vedení, pojistky, hlavní vypínač. Schéma jako takové nelze modifikovat, pouze hodnoty jednotlivých částí (například hodnota proudu hlavního vypínače) a názvy bloků.

U bloku kabelového vedení je uživateli umožněno nastavení délky, průřezu a materiálu kabelu. Při změnách těchto parametrů jsou aplikací počítány úbytky na tomto vedení a je zobrazena indikace správnosti zvolených hodnot.

Konfigurace stringů V této části se FV pole panelů rozdělí do jednotlivých stringů a to buď automaticky (zajistí aplikace) nebo manuálně uživatelem. U automatického rozdělení může uživatel navolit v jakém směru bude aplikace přiřazovat FV panely do stringů. Vždy se začíná přiřazovat od stringu s nejnižším pořadovým číslem.

V případě manuálního přiřazování se FV panely přidávají do stringů jednotlivě. Zde se nemusí začít od stringu s nejnižším pořadovým číslem jako v případě automatického způsobu, avšak přiřazování v jiném pořadí je značně nepohodlné. Každý ze stringů je možné barevně odlišit, což zachovává alespoň částečnou přehlednost.

Montážní výkres Jak název napovídá v této části návrhu uživatel vytváří montážní výkres. Elementy které je možno do výkresu zakreslit se odvíjí od zvoleného typu plochy v části návrhu *Základní plocha*. Do výkresu je možné zakreslit následující elementy: krovy, nosníky a osy upevnění nosných konstrukcí. Bohužel zakreslení neprobíhá interaktivně, ale je nutné zadávat hodnoty do formuláře, jehož potvrzením se spustí vykreslování elementů na plochu. V případě kdy je zvolen jiný typ plochy nežli plocha typu střecha je tato část návrhu nevyužita, aplikace zde nedovoluje uživateli nikterak zasáhnout do návrhu. Tato část návrhu je značně nepřehledná, uživatelsky naprosto nepřívětivá.

Vyúčtování V závěrečné části návrhu se uživatel dostane do ekonomického zúčtování. Nedochozí zde však k simulaci ekonomické efektivnosti FV systému, ale pouze je předložena tabulka představující seznam nákladů pro stavbu navrženého systému. Položky tabulky jsou předvyplněny automaticky aplikací podle průběhu návrhu FV systému. Tedy je to jakýsi seznam položek u kterých je evidováno několik základních atributů jako například cena a množství. Samozřejmě uživatel může libovolně záznamy v tabulce modifikovat a přidávat nové. Také je možné tabulku exportovat do programu Microsoft Excel.

6.3.2 Shrnutí

PV Professional je aplikace z velmi vysokou pořizovací cenou a byly tak od ní očekávány vysoké nároky, avšak aplikace se v průběhu testování příliš neosvědčila. Při práci s aplikací uživatele provází poměrně nevkusné GUI, které je navíc velmi nepřehledně zpracované. V některých místech jsou použity zkratky, avšak bez dodatečného vysvětlení.

Klady	Zápory
Dostupná trial licence	GUI
Reportování výsledku	Cena
Možnost rozvržení FV panelu	Často nefunkční jazykové nastavení
	V některých částech návrhu jsou předkládané informace nepřehledné
	Databáze komponent
	Aplikace neověřuje správnost modelovaných situací
	Absence ekonomické simulace provozu
	Absence simulace provozu

Tabulka 4: Klady a zápory aplikace PV Professional

Aplikace umožňuje nastavit čtyři různé jazykové prostředí, toto nastavení je ale funkční pouze částečně. Při testování byla aplikace nastavena na jazyk anglický, ale i přesto byla spousta textu v jazyce německém.

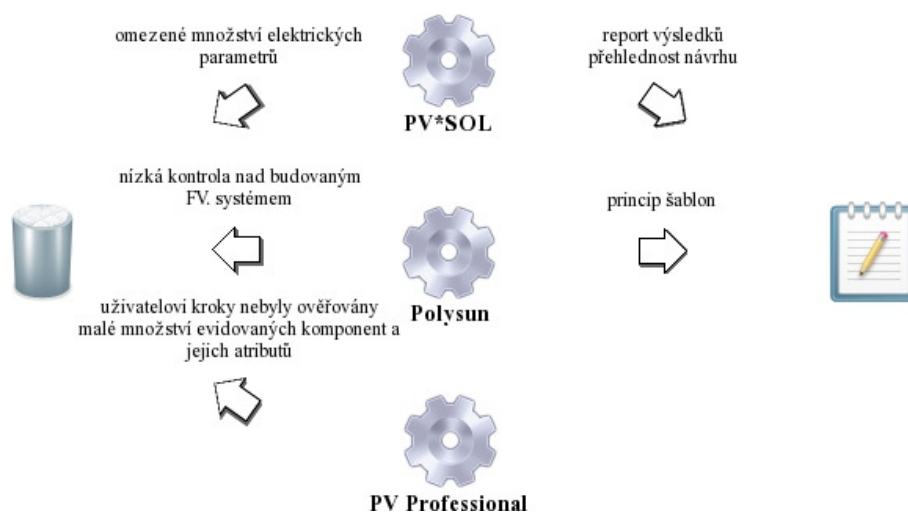
Databáze poskytovaná aplikací neobsahuje přílišné množství záznamů s porovnáním například s aplikací PV*SOL a navíc u jednotlivých záznamů je evidováno omezené množství atributů, které zdaleka nepokrývá potřeby většiny uživatelů. Celkově je databáze nepřehledná a neposkytuje žádné pomocné funkce pro vyhledávání konkrétních záznamů, či zobrazení detailu jedné komponenty.

Samotný návrh FV systému není také příliš zdařilý, ale myšlenka postupného budování FV systému v několika na sebe navazujících krocích je zdařilá. V průběhu návrhu není uživatel nijak informován o již vytvořené části budovaného systému a celý návrh nepůsobí jako jeden celek; zkrátka chybí určitá zpětná vazba na již vytvořené části. Na-prosto fatální chyba je u výběru zapojení mezi FV panely a inventory. Nejenže aplikace nepočítá zapojení automaticky, ale dokonce ani neověřuje jeho správnost při namodelování zapojení uživatelem. Bohužel aplikace postrádá u navrženého systému možnost simulace jeho provozu nebo ekonomické efektivnosti, což se zdá při pořizovací ceně aplikace jako hrubý nedostatek.

Velmi zdařile působila část návrhu *Určení FV panelů*, kde si uživatel může rozmístit FV panely dle vlastních požadavků. Také je nutné ocenit možnost reportování návrhu do dokumentu PDF, celý návrh tak dostane nějakou výstupní formu. Klady a zápory aplikace jsou popsány v tabulce 4.

6.4 Inspirace k vlastní aplikaci

Všechny testované aplikace byly svým způsobem méně či více zajímavé a každá pohlížela na návrh FV systému odlišným způsobem. U jednotlivých aplikací se objevila celá řada zajímavých myšlenek, které vnukly nové nápady pro budovanou aplikaci. Testování aplikací nebylo užitečné jenom z hlediska nalezení zajímavých podnětů, ale také těch



Obrázek 9: Znázornění čerpání inspirace

špatných. Těmto podnětům se bude budovaná aplikace snažit vyhnout nebo alespoň je omezit na minimum.

Zřejmě nejzajímavější myšlenkou zjištěnou při samotném testování aplikací byl princip šablon, který se objevil u aplikace Polysun. V podstatě se jednalo o základní rozpracované FV systémy, které bylo možno dále modifikovat podle konkrétních požadavků uživatelů. V budované aplikaci se princip šablon také objeví, avšak ne z hlediska šablon FV systémů jako celků, ale spíše šablon, které určují použití reálných komponent v systému vytvořeném právě za pomoci šablony. U aplikací Polysun a PV Professional byl návrh FV systému dosti nepřehledný, což způsobovalo mnohdy zmatky při samotném návrhu. Z toho důvodu bude v samotné aplikaci uživatel vždy informován o právě prováděném kroku a i o celém budovaném systému jako celku. Z pohledu praktičnosti se jevil report výsledků jako potřebná funkce a bude tak v jisté míře do budované aplikace zahrnut.

U PV Professional se kroky uživatele v určitých částech nijak nekontrolovaly, což mělo za následek vznik naprosto nereálných FV systémů, v praxi nefunkčních; zkrátka chyběla kontrolní logika aplikace. U této aplikace se také objevil nedostatek z hlediska evidování reálných komponent. Byly evidovány pouze FV panely a střídače, které sice tvoří jádro FV systému, avšak tyto systémy obsahují celou řadu dalších zařízení s potřebnými funkcemi. Díky zkušenosti z PV Professional bude vlastní aplikace každý krok uživatele kontrolovat, tak aby do systému nebyly zaneseny nereálné hodnoty a nevznikaly, tak nesmyslné FV systémy. Samozřejmě paleta zařízení bude také rozšířena. Podněty z testování, které budou do výsledné aplikace zavedeny a naopak podněty, kterým se vlastní aplikace bude snažit vyhnout jsou zobrazeny na obrázku 9.

7 Nejvýznamnější požadavky na aplikaci

V prvotní fázi analýzy [8, 9] vlastní aplikace bylo nutné shromáždit dostatečného množství informací související s řešenou tematikou. Jednalo se zejména o informace vztažené k samotnému zapojení jednotlivých komponent FV systémů. Základní část znalostí týkající se převážně on-grid zapojení byla načerpána z již realizované bakalářské práce, zabývající se také fotovoltaikou. Zcela novou nepoznanou oblastí pak byla oblast off-grid FV systémů. Informace získané při tvorbě bakalářské práce byly porovnány s nově nabytými znalostmi a proběhla jejich určitá revize, kdy některé byly zcela vyloučeny jiné doplněny o nové poznatky.

Po shromáždění dostatečného množství informací se začaly krystalizovat významné požadavky na budovanou aplikaci. Mezi nejvýznamnější funkční požadavky patří následující:

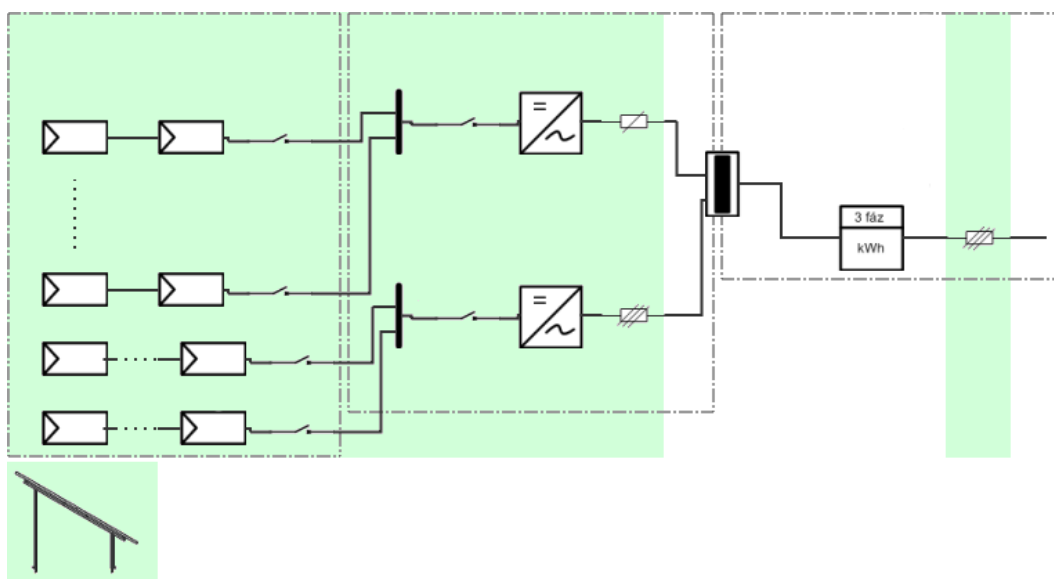
- Vytvořit konfigurátor pro počítání zapojení mezi FV panely, regulátorem a akumulátorem.
- Zlepšení a doplnění interaktivního průvodce pro tvorbu on-grid FV systémů z bakalářské práce.
- Vytvořit zcela nového interaktivního průvodce pro tvorbu off-grid FV systémů.
- Implementovat inteligentní systém pro tvorbu sestav ze šablon dle obecných kritérií, jako jsou cena, výkon aj.
- Pro off-grid systémy vytvořit simulaci provozu v určitém časovém období.
- Evidence reálných komponent a jejich dodavatelů.

Aplikace umožní návrh FV systému typu on-grid a off-grid podle schématu na obrázku 10 respektive 11 (právě zelené zóny v uvedených obrázcích bude možné generovat za pomoci budované aplikace).

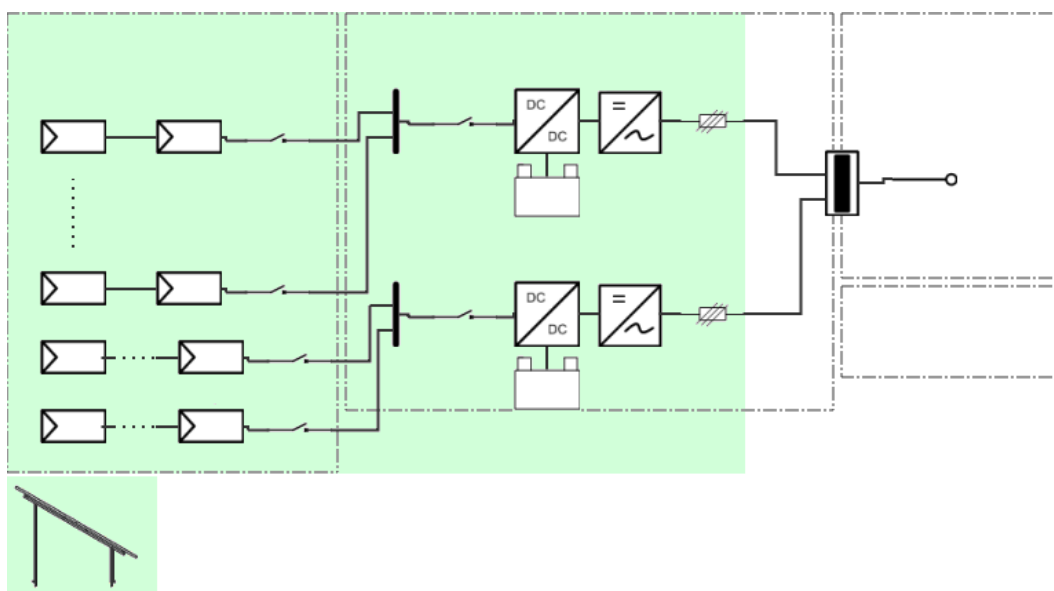
7.1 Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce

Díky interaktivnímu průvodci bude uživatel schopen vytvořit FV systém podle jeho představ za pomoci reálných komponent a jejich nabídek. Tato funkce vznikne nově pro systémy typu off-grid, pro systémy typu on-grid bude doplněna o nově získané poznatky a budou zdokonaleny výpočty provozu simulace FV systému. Průvodce bude zahrnovat několik kroků, kdy v každém bude řešena jiná část navrhovaného systému. Uživatelé budou vždy nabídnuty pouze jednotlivé kompatibilní celky, které do systému bude moci vkládat, bude tak zachována kompatibilita systému jako celku. Celky vkládané do systémů budou obsahovat jak elektrické tak i finanční parametry. Při každé modifikaci budovaného systému budou interaktivně přepočítávány hodnoty jeho atributů. U těchto systémů budou požadovány jednak elektrické, tak samozřejmě i ekonomické parametry.

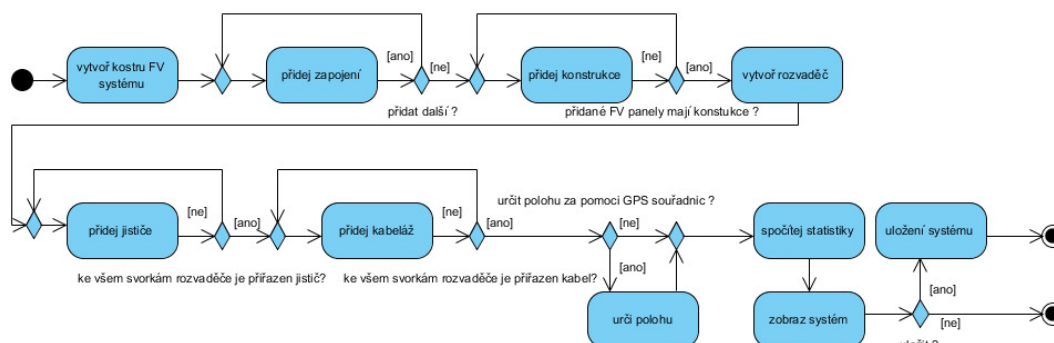
Prvním krokem návrhu systému je část v němž volí uživatel ze seznamu zapojení několik z nich, které následně vloží do vytvářeného systému. Pod pojmem zapojení



Obrázek 10: Schéma on-grid FV systému



Obrázek 11: Schéma off-grid FV systému



Obrázek 12: Proces návrhu FV systému za pomoci interaktivního průvodce

si čtenář představí propojení mezi FV panely, inventory u on-grid systémů a mezi FV panely, akumulátory, regulátory případně inventory u off-grid systémů. V dalším textu bude pojmem zapojení myšleno právě zapojení mezi těmito zařízeními.

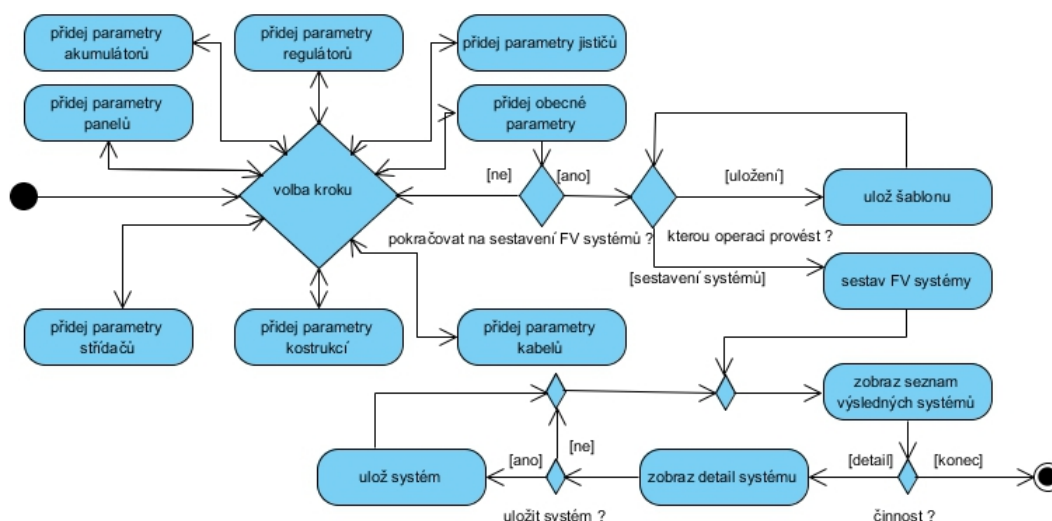
Následujícím segmentem bude segment konstrukcí, kdy jednotlivé konstrukce nebudou počítány k FV panelům jednotlivých zapojení, nýbrž k typům panelů napříč všemi zapojeními přidaných do budovaného systému.

Následovat bude segment jističů, tyto se budou přidávat na vstupní a výstupní svorky rozvaděče. Tento rozvaděč je nutné před tímto krokem vytvořit. Tvorba rozvaděče bude spjata vždy s konkrétním zapojením pro které bude počítán. Počet vstupních a výstupních svorek by měl být rozložen rovnoměrně. Jedno zapojení musí obsahovat právě jeden rozvaděč.

Další krok poté představuje kabelové vedení. Kabelové úseky by měli být rozděleny na úseky jednotlivých stringů FV panelů a na úseky mezi výstupními svorkami rozvaděče a regulátorem. Do úseků jednotlivých stringů by měli být přidávány pouze kabely jednožilové.

Závěrečným krokem návrhu systému bude určení jeho reálné polohy pro přesnější výpočty simulace provozu. V tomto kroku se nabízí, aby vlastní aplikace využila aplikaci od Bc. Michala Palucha, která poskytuje informace o množství dopadeného slunečního záření na danou plochu.

Na takto sestavený systém se již spustí simulace provozu, která vypočítá statistiky FV systému na 20 let dopředu. Reprezentantem výsledků by měli být jak tabulky, tak grafy. U simulace se nepožadují pouze parametry elektrické (např. množství vyrobené energie pro konkrétní rok), ale i ekonomické. Tyto parametry budou také spjaty se vstupními náklady na realizaci systému. Mezi grafy, které by měla aplikace poskytovat by měl patřit graf finančního výnosu pro každý rok, graf roční vyprodukované elektrické energie a také graf vyjadřující čistý výnos simulovaného systému. Návrh systému je zachycen aktivním diagramem na obrázku 12.



Obrázek 13: Proces návrhu šablony pro off-grid FV systémy

7.2 Návrh FV systému pomocí šablony

Evidovaný uživatel aplikace požaduje vytvořit FV systém, avšak nemusí disponovat znalostmi z této oblasti zájmu. Spíše budou od něj vyžadovány obecné znalosti o budovaném FV systému, tak aby aplikace podle těchto znalostí, které přímo nesouvisí s fotovoltaikou mohla nasimulovat několikero FV systémů vyhovujících právě těmto parametrům.

Uživatel bude za pomoci interaktivního průvodce proveden jednotlivými zařízeními FV systému, kde bude moci právě tyto obecné parametry volit a bude tak vytvářet jistou šablonu. Proces tvorby šablony pro off-grid systémy je znázorněn na obrázku 13, pro on-grid systémy je princip shodný. Tuto šablonu bude možné uložit a to buď jako soukromou, kdy bude přiřazena svému tvůrci případně jako veřejnou a bude tak dostupná všem uživatelům registrovaných v aplikaci. Šablony budou vznikat jak pro FV systémy typu on-grid, tak i off-grid. U zařízení bude možné zvolit konkrétního dodavatele případně výrobce. Dále také rozsah ceny, ve které se nabídky pro jednotlivá zařízení budou pohybovat. Mezi další parametry bude patřit záruční doba a také možnost do FV systému přidávat pouze zařízení od jednoho stejného výrobce případně dodavatele.

Vytvořený interaktivní průvodce však nebude vyžadovat striktní vyplnění všech těchto parametrů; bude na konkrétním uživateli, které z parametrů jsou pro něj klíčové a ty vyplní, ostatními se nemusí zatěžovat. Při nevyplnění některých z parametrů bude tato situace aplikací chápána tak, že při samotném sestavování konkrétního FV systému nebude toto sestavení těmito parametry omežováno.

Jednotlivé kroky při tvorbě šablony nebude nutné všechny striktně procházet, ale jen ty které chce uživatel ovlivnit. Celý návrh bude dokumentován a uživatel v kterékoli fázi návrhu bude moci zkontrolovat atributy konkrétní šablony, případně ji modifikovat.

V poslední fázi návrhu šablony pak bude uživateli předložen výběr parametrů týkající se celého FV systému. Výběr bude rozdělen na čtyři segmenty u kterých bude možné

navolit odlišné parametry, kdy každý segment odpovídá jedné části systému. Rozdělení do jednotlivých segmentů je nutné z toho důvodu, neboť parametry pro jednu oblast FV systému nemusí být vhodné pro oblast další.

První částí FV systému jsou zapojení. Kompatibilita zapojení bude počítána automaticky aplikací. Zapojení budou vybírána dle následujících parametrů:

- **výkon/cena** Uživatel zvolí výkon a jeho toleranci v procentech. Zapojení spadající do této výkonové oblasti budou dále profiltrovány na základě ceny. Budou upřednostňovány zapojení s nejnižší cenou.
- **výkon/záruka** Zde bude opět zvolen výkonový rozsah a další filtrace proběhne na základě lhůty záruční doby zařízení obsažených v zapojení. Upřednostněny budou zařízení s delší záruční lhůtou.
- **cena/výkon** Pro stanovený cenový rozsah se naleznou vhodná zapojení z nichž se dále vyberou jen ty nejvýkonnější.
- **cena/záruka** Zapojení nalezená v závislosti na cenovém rozsahu budou dále profiltrována s ohledem na záruční lhůtu.
- **rozloha/výkon** Stanoví se rozloha FV pole panelů a opět se vyberou jenom nejvýkonnější zapojení.
- **rozloha/cena** Stejně jako v předchozím případě pro zadanou plochu FV panelů se vyberou odpovídající zapojení a ty se dále omezí pouze na zapojení s nejnižší cenou.

Další částí FV systému jsou konstrukce. U konstrukcí nebude jedním z kritérií jejich rozloha i když se zdá být tento parametr logický. Mnohem více tento parametr vyhovuje rozloze samotných FV panelů, tedy parametr je přidán v předchozí části. Kompatibilita FV panelů a konstrukcí bude ověřována aplikací. Tyto konstrukce budou počítány dle následujících kritérií:

- **cena/záruka** Budou vybrány kompatibilní konstrukce s již vybranými zapojeními respektive s vybranými FV panely, tyto konstrukce budou poté filtrovány v závislosti na jejich ceně. V případě shodných cen, budou vybrány ty konstrukce s nejdelší záruční lhůtou.
- **záruka/cena** Opět vybrané kompatibilní konstrukce budou omezeny pouze na ty s nejdelší záruční lhůtou. Při shodě hodnot budou vybrány konstrukce s nejnižší cenou.

Třetí oblastí je oblast kabelového vedení. Zde bude potřeba určit délku jednotlivých kabelových úseků. Toto se bude počítat z rozměrů FV panelů. Také je nutné zajistit kompatibilitu kabelů s jednotlivými zapojeními. U kabelového vedení se jako klíčové zdají být následující parametry:

- **ztráty/cena** Do budovaného systému bude přiřazována pouze kabeláž s nejnižšími výkonovými ztrátami, v případě shody této vlastnosti u více kabelů, bude tato kabeláž ještě profiltrována s ohledem na co nejnižší cenu.
- **ztráty/záruka** Opět jako v předchozím případě budou vybírány kabely s nejnižšími ztrátami, avšak následná filtrace bude probíhat již podle délky záruční lhůty. Upřednostněna bude kabeláž s nejdelší lhůtou.
- **cena/záruka** Bude vybrána nejlevnější kabeláž. Při shodných cenách projde tato kabeláž filtrací s ohledem na délku záruční lhůty.
- **záruka/cena** Do FV systému bude přiřazována pouze kabeláž s nejdelší záruční lhůtou. V případě shody lhůt bude opět kabeláž profiltrována dle ceny a vybrána ta s nejnižší cenou.
- **cena/ztráty** Bude vybrána nejlevnější kabeláž, která bude dále profiltrována s ohledem na výkonové ztráty.
- **záruka/ztráty** Z kompatibilní kabeláže se vybere pouze ta, která má nejdelší záruční lhůtu. Tato vybraná kabeláž v případě shody záručních lhůt bude dále profiltrována podle výkonových ztrát.

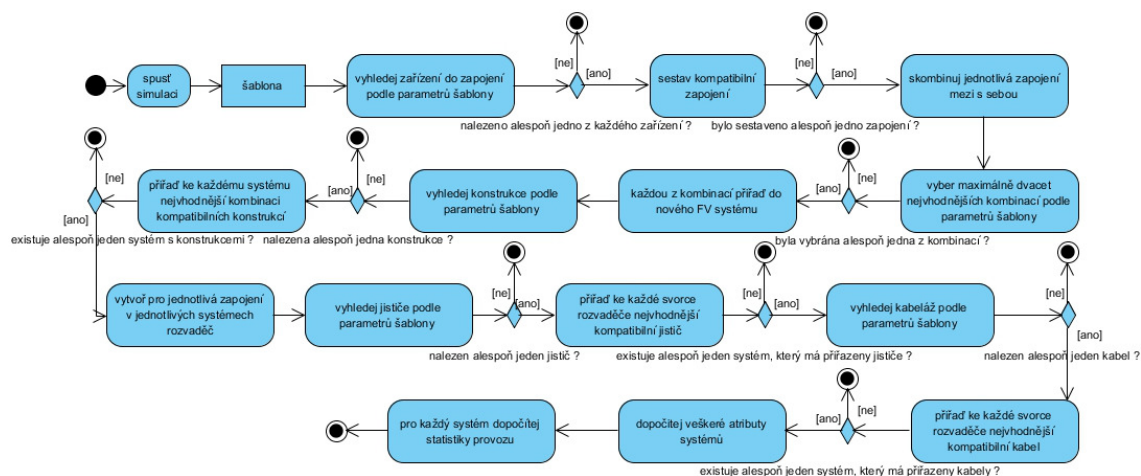
Závěrečnou oblastí jsou jističe. U jističů bude opět ověřována jejich elektrická kompatibilita s daným zapojením. Mezi parametry výběru parametrů patří tyto:

- **cena/záruka** Budou vybírány nejlevnější z kompatibilních jističů, při shodných cenách jističů budou z těchto vybrány ty s nejdelší záruční lhůtou.
- **záruka/cena** Při sestavování FV systému budou akceptovány pouze jističe s nejdelší záruční lhůtou. V případě shody záručních lhůt budou z těchto jističů vybrány nejlevnější.

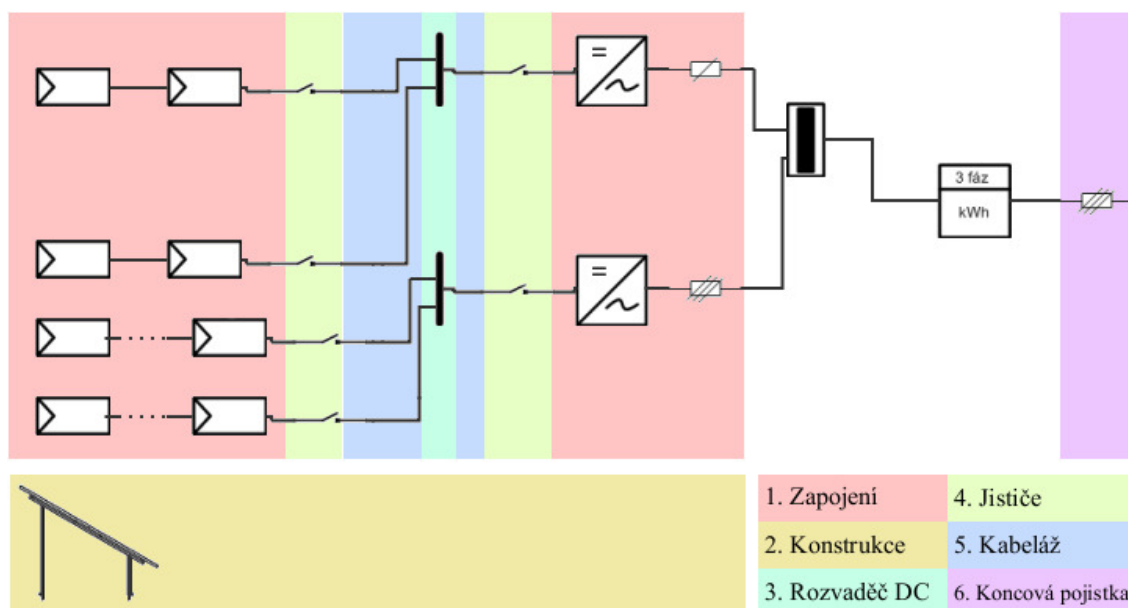
Podle těchto kritérií bude uživateli nabídnuto maximálně dvacet FV systémů, které si bude moci prohlédnout a vybrat pro něj ten nejlepší. Tento systém pak následně uložit. Proces postupného sestavení by měl odpovídat aktivitnímu diagramu znázorněném na obrázku 14. Proces je také zachycen za pomoci blokového schématu na obrázku 15 (v případě off-grid systému by do červené zóny patřil také regulátor a akumulátor).

7.3 Simulace provozu off-grid systémů

Dalším významným požadavkem byl požadavek pro vznik funkce podrobné simulace provozu FV systému. Samotný provoz by byl simulován pro každý den v určitém časovém období. Tato simulace je plánována pouze pro systémy typu off-grid, pro typy on-grid nemá každodenní simulace provozu příliš velký smysl. Hlavním důvodem vzniku funkce je praktický příklad ze života. Tímto příkladem může být situace kdy majitel FV systému odcestuje na chatu, kde má tento systém zprovozněn a požaduje informaci o



Obrázek 14: Proces sestavení FV systému ze šablony - aktivní diagram



Obrázek 15: Proces sestavení FV systému ze šablony - schéma

množství energie, kterou systém vyrobí za požadované období. Díky těmto poskytnutým informacím pak může rozplánovat svůj pobyt v závislosti na energetické spotřebě.

Jestliže se uvažuje o praktičnosti této funkce, velmi pěknou dovedností by byla možnost zvolit si konkrétní typy spotřebního zařízení a na základě nich počítat dostatek či naopak nedostatek energie vyrobené tímto systémem pro každý den. Není nutné aby byly v aplikaci evidovány konkrétní spotřebiče, pouze jejich určité zastoupení jako například osvětlení, rádio a podobně. Off-grid systémy obvykle pracují s nominálním napětím 12 V, 24 V případně 48 V, tedy při výběru spotřebiče by měl být brán ohled na toto napětí.

Nebude nutné tuto simulaci provozu uchovávat pro pozdější použití, neboť tato možnost působí dosti nesmyslně. Výstupem těchto simulací by se měly stát především grafy, které budou obsahovat různorodé statistiky. Zásadními grafy se pak stanou ty, které budou vyjadřovat rozdíl mezi spotřebovanou a naopak přebývající energií pro každý den.

7.4 Případy užití

V této kapitole budou popsány případy užití respektive jeden tzv. “kladný” scénář ke každému z případů. Nebudou zde zachyceny všechny možnosti, které se mohou u jednotlivých případů vyskytnout, neboť toto není účelem této kapitoly. Kapitola by měla nastínit čtenáři jakousi prvotní představu o použití dané funkce aplikace.

7.4.1 Návrh FV systému pomocí šablony

Případ užití: Návrh FV systému pomocí šablony.

ID: UC01

Stručný popis: Tento případ užití se zabývá tvorbou FV systému pomocí šablony navržené v postupných krocích interaktivního průvodce. Díky průvodci bude uživatel schopen navolit různé hodnoty parametrů pro zařízení obsažená ve FV systému.

Primární aktéři: Uživatel

Vstupní podmínky: Uživatel musí být do systému přihlášen tzn. jedná se o registrovaného uživatele.

Hlavní scénář:

1. UŽIVATEL zvolí možnost tvorby FV systému pomocí šablony
2. APLIKACE přesměruje uživatele na první krok interaktivního průvodce, což je výběr parametrů pro FV panely
3. DOKUD UŽIVATEL NEZVOLÍ HODNOTY POŽADOVANÝCH PARAMETRŮ
 - (a) UŽIVATEL zvolí konkrétní zařízení
 - (b) UŽIVATEL pro konkrétní zařízení navolí požadované hodnoty parametrů
 - (c) APLIKACE informuje o hodnotách všech parametrů pro veškerá zařízení
4. UŽIVATEL zvolí obecné parametry FV systému

5. APLIKACE umožní uživateli vytvořenou šablonu uložit buď jako soukromou nebo veřejnou
6. APLIKACE dle šablony navrhne několik nejlépe této šabloně vyhovujících FV systémů
7. APLIKACE zobrazí uživateli seznam navržených FV systémů
8. UŽIVATEL si může u těchto systémů prohlédnout jejich detail, případně je uložit

Výstupní podmínky: Seznam několika vytvořených FV systémů

7.4.2 Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce

Případ užití: Interaktivní průvodce

ID: UC02

Stručný popis: Případ užití vyjadřuje použití funkce aplikace, která za pomoci interaktivního průvodce navrhuje FV systém. Tato funkce bude dostupná jak pro on-grid, tak i off-grid systémy

Primární aktéři: Uživatel

Vstupní podmínky: Uživatel musí být do systému přihlášen tzn. jedná se o registrovaného uživatele

Hlavní scénář:

1. UŽIVATEL zvolí možnost tvorby FV systému pomocí interaktivního průvodce
2. DOKUD UŽIVATEL VOLÍ KONKRÉTNÍ ZAPOJENÍ
 - (a) UŽIVATEL zvolí konkrétní zapojení
 - (b) APLIKACE zobrazí možné nabídky k tomuto zapojení
 - (c) UŽIVATEL vloží zapojení společně s jeho nabídkami do FV systému
3. UŽIVATEL přejde do sekce konstrukcí
4. APLIKACE uživateli zobrazí konstrukce, které jsou kompatibilní se zapojeními respektive s FV panely přidanými v 2. kroku tohoto scénáře
5. DOKUD UŽIVATEL VOLÍ KONKRÉTNÍ KONSTRUKCE
 - (a) UŽIVATEL zvolí konkrétní konstrukci
 - (b) APLIKACE zobrazí možné nabídky k této konstrukci
 - (c) UŽIVATEL vloží konstrukci společně s nabídkami do FV systému
6. UŽIVATEL přejde do sekce jističů
7. APLIKACE uživateli zobrazí jističe, které jsou kompatibilní s budovaným systémem
8. DOKUD UŽIVATEL VOLÍ KONKRÉTNÍ JISTIČE

- (a) UŽIVATEL zvolí konkrétní jistič
 - (b) APLIKACE zobrazí možné nabídky k jističi
 - (c) UŽIVATEL vloží jistič společně s nabídkami do FV systému
9. UŽIVATEL přejde do sekce kabelového vedení
 10. APLIKACE uživateli zobrazí kabeláž, která je kompatibilní s budovaným systémem
 11. DOKUD UŽIVATEL VOLÍ KONKRÉTNÍ KABELÁŽ
 - (a) UŽIVATEL zvolí konkrétní kabeláž
 - (b) APLIKACE zobrazí možné nabídky k vybrané kabeláži
 - (c) UŽIVATEL vloží kabeláž společně s nabídkami do FV systému
 12. UŽIVATEL přejde do sekce výběru polohy pro FV systém
 13. UŽIVATEL vyplní informace o poloze budovaného systému
 14. UŽIVATEL přejde do sumarizační části
 15. APLIKACE vypočítá simulaci provozu na dvacet let pro každý rok jednotlivě
 16. APLIKACE umožní uživateli tento vytvořený FV systém uložit

Výstupní podmínky: Vytvořený FV systém

7.4.3 Simulace provozu off-grid systémů

Případ užití: Simulace provozu off-grid systémů

ID: UC03

Stručný popis: Případ užití vyjadřuje použití funkce aplikace, která simuluje provoz FV systému po specifikované období a specifikovanou zátěží

Primární aktéři: Uživatel

Vstupní podmínky: Uživatel musí být do systému přihlášen tzn. jedná se o registrovaného uživatele. Uživatel musí mít zpřístupněn uložený FV systém typu off-grid

Hlavní scénář:

1. UŽIVATEL ze seznamu uložených FV systémů zvolí právě jeden
2. UŽIVATEL vloží do aplikace parametry týkající se polohy systému a specifikuje období simulace
3. APLIKACE vyzve uživatele k přidání zařízení, které budou po simulované dobu čerpat energii z tohoto systému
4. DOKUD UŽIVATEL PŘIDÁVÁ SPOTŘEBNÍ ZAŘÍZENÍ

- (a) UŽIVATEL zvolí konkrétní zařízení
- (b) UŽIVATEL pro konkrétní zařízení zvolí hodnoty nominálního napětí a denní doby provozu
- (c) UŽIVATEL připojí toto zařízení jako zátěž k FV systému
- (d) APLIKACE spustí simulaci provozu
- (e) APLIKACE zobrazí výsledky simulace provozu

Výstupní podmínky: Statistiky popisující simulaci provozu systému

8 Úvod do implementace

Při prvotním uvažování o aplikaci bylo nutné vyřešit dilema, zda aplikaci vytvořit jako aplikaci webovou či desktopovou. Mezi hlavní výhody desktopové aplikaci patří její snadnější implementace a možnost jednodušší reprezentace výsledků uživatelům. Naopak záporem bylo omezení přístupu k ní, tedy s tím související její případná distribuce. Nakonec padlo rozhodnutí, že aplikace bude vytvářena jako aplikace webová a to ze dvou hlavních důvodů. Prvním z důvodů je určitá "modernost" řešení, kdy se v současnosti spousta aplikací snaží uživatelům přiblížit tím, že budou dostupné z prostředí Internetu. Dalším důvodem vedoucí k rozhodnutí pro webovou verzi je ten, že spousta aplikací řešící problematiku fotovoltaiky je řešena desktopovými verzemi aplikacemi, tedy vlastní aplikace se bude tímto odlišovat.

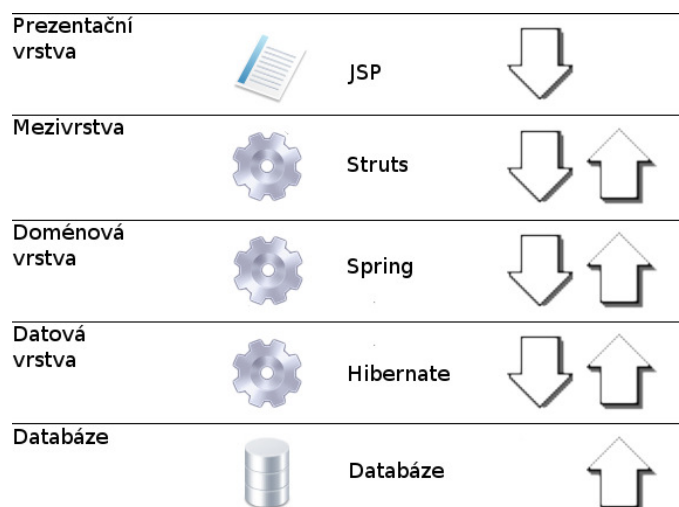
8.1 Použité frameworky

Po rozhodnutí o typu, bylo nutné vybrat technologie pomocí kterých bude vlastní aplikace implementována. Jako programovací jazyk byla zvolena Java [10, 11], která byla doplněna o další technologie respektive frameworky. Každý z frameworků má v aplikaci své místo a zajišťuje funkčnost její určité části. Obrázek 16 zobrazuje jednotlivé vrstvy aplikace. Hlavními frameworky jsou tyto:

- **Struts²** Je elegantní, rozšiřitelný framework pro podnikové(enterprise) Java web aplikace. Mezi nesporné výhody frameworku patří prvotřídní AJAX podpora a snadná integrace s frameworkem Spring. Struts² [12, 13] je v aplikaci použit pro komunikaci mezi doménovou vrstvou aplikace a vrstvou prezentační. Tedy bude tvořit určitou mezivrstvu. K tomuto frameworku byl dodán Struts² jQuery plugin, který zajišťuje AJAX funkcionalitu a poskytuje množství užitečných widgetů.
- **Spring** Je jedním z nejvíce oblíbených frameworků pro vývoj podnikových Java aplikací. Spring [14] umožňuje tzv. dependency injection (inversion of control), díky němuž je umožněno odstranění těsných vazeb mezi třídami(objekty). Ve vlastní aplikaci je tento framework použit pro doménovou oblast, kde se výhod dependency injection využívá.
- **Hibernate** Je framework, který umožňuje tzv. objektově-relační mapování. Hibernate [15] je ve vyvíjené aplikaci konfigurován za pomoci Springu. Hibernate je použit pro datovou vrstvu.

8.2 Databáze

Nedílnou součástí aplikace je její databáze. Při tvorbě databáze bylo nutné zachytit potřebné objekty, které bude nutné do databáze zahrnout. Za databázový systém byl zvolen systém MySQL [16].



Obrázek 16: Vrstvy aplikace

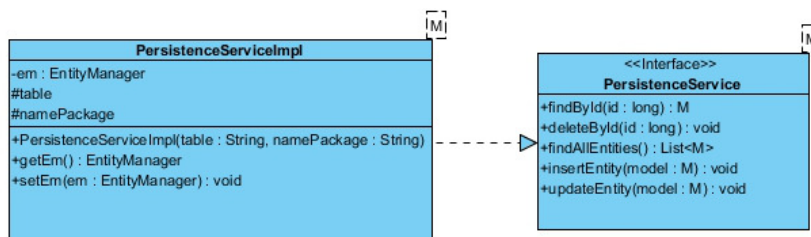
Početnou skupinu evidovaných objektů tvoří zařízení. Jedná se o tyto zařízení: FV panely, střídače on-grid i off-grid, regulátory, akumulátory, nosné konstrukce, kabeláž a jističe. U těchto zařízení jsou evidovány jak jejich fyzikální parametry, tak i parametry ekonomické, respektive pro konkrétní zařízení je možné přidat konkrétní nabídku. Atributů které jsou u zařízení evidovány je mnoho a ne všechny jsou použity při výpočtech; vysvětlení proč se i tyto atributy evidují je takové, že poskytují komplexnější přehled o daném zařízení. Při návrhu se zvažovala evidence ještě jednoho prvku a to jsou svorky kabelů respektive zařízení. Od tohoto však bylo upuštěno, neboť by se při stavbě FV systému jednalo o prvek, který by tuto stavbu výrazně omezoval. Dle pozorování se toto omezování v reálných stavbách neděje; například pokud některá ze svorek zařízení není kompatibilní se svorkou kabeláže, je svorka kabeláže předělána na svorku již kompatibilní.

Z předchozího plyne nutnost evidence výrobců zařízení a dodavatelů jednotlivých nabídek těchto zařízení.

Hlavní součástí FV systémů (on-grid i off-grid) je zapojení složeno z několika zařízení. Tyto zařízení musí mezi sebou být kompatibilní. V aplikaci se velmi často pracuje právě s těmito zapojeními a neustálé počítání kompatibility mezi zařízeními by bylo neefektivní. Z tohoto důvodu do evidence budou zahrnuty i jednotlivé kompatibilní zapojení.

Aplikace samozřejmě umožňuje ukládání uživateli vytvořených FV systémů spolu s jejich statistikami. Šablony FV systémů je také možno vložit do databáze.

V aplikaci byla vytvořena generická třída `PersistenceServiceImpl`, ve které je definován `EntityManager` objekt, pomocí něhož je aplikaci umožněn přístup do databáze. Na `EntityManager` objekt je použita anotace `@PersistenceContext`, která umožňuje nastavení objektu kontejnerem tedy frameworkem Spring. Každá třída respektive z ní vytvořený objekt, který chce přistupovat do databáze musí `EntityManager` objekt obsahovat, toto je zajištěno zděděním ze třídy `PersistenceServiceImpl`, která tento objekt obsahuje a také



Obrázek 17: Třídní diagram přístupu do databáze

implementuje základní metody pro vložení, nalezení, mazání a editace entit viz obrázek 17.

8.2.1 Formuláře

Pro vkládání a editaci jednotlivých entit v prezentační vrstvě aplikace slouží klasické formuláře. Pro zajištění co největší korektnosti hodnot vkládaných do databáze, je na vkládané hodnoty do položek formulářů spuštěna validace, tuto zajistí Struts². Validace ověřuje především správný tvar vkládaných hodnot např. dodržení tvaru emailu, jejich délku a nutnost vyplnění. Samotná validace je implementována tak, že ke každé "akční" třídě frameworku Struts², je dodán soubor XML, který validaci popisuje. Název tohoto souboru je *název_třídy-validation.xml*.

Formuláře jako takové obsahují jak prvky z frameworku Struts², tak i z jeho rozšíření Struts² jQuery pluginu, například tzv. "datepicker".

8.3 Zapojení

Pojem zapojení je vysvětlen v kapitole 7.2. Zapojení jako takové je stěžejní částí FV systémů. Množství vyrobené nebo uchované energie systémem záleží především na této části. Jednotlivé zařízení v zapojení musí být mezi sebou vzájemně kompatibilní. Kompatibilita je ověřována aplikací, tak aby uživateli nebylo umožněno sestavení systému skládajícího se ze zařízení vůči sobě nekompatibilních, tak jako tomu bylo u testované aplikaci PV Professional (kapitola 6.3).

Aplikace v současnosti umožňuje k jednomu střídači připojit takové FV pole panelů, které obsahuje shodný počet panelů v jednotlivých řetězcích. Třídní diagram reprezentace zapojení v aplikaci je možné shlédnout na obrázku 18. Způsob reprezentace je stejný jak u on-grid, tak off-grid zapojení. Může se zdát zbytečné oddělit od sebe zapojení a jednotlivé řetězce, které obsahuje, pakliže každý řetězec v zapojení je stejný. Rozhodnutí oddělit řetězce a zapojení jako celek má však své opodstatnění a to v případě rozšíření aplikace o různé řetězce v jednom zapojení. Tato změna by díky této zvolené reprezentaci neměla závažný dopad na logiku aplikace, při realizaci dalších výpočtů v aplikaci.

I přestože zapojení jako takové je kompatibilní, nemusí odpovídat počet stringů FV pole panlů počtu vstupů střídače respektive regulátoru. Tato situace se řeší za pomoci stejnosměrného rozvaděče, který je do zapojení přidán. Stejnosměrný rozvaděč v první



Obrázek 18: Třídní diagram zapojení

fázi do zapojení přidáván není, jeho přidání je realizováno až při sestavování FV systému viz následující kapitoly.

Zapojení on-grid Při sestavování těchto zapojení je stěžejní správné namodelování FV polí panelů. Určité elektrické vlastnosti těchto polí musí být shodné se vstupními elektrickými vlastnostmi střídače. Samotné modelování konkrétního pole probíhá určením počtu panelů ve stringu a počet těchto stringů. Samotné zjištění zdali je dané zapojení kompatibilní se určuje pomocí následujících parametrů:

- **P(DC)** Vstupní výkon střídače musí být větší než výkon všech panelů obsažených v zapojení, aby nedošlo k přetížení a případné poruše zařízení.
- U_{mpp} Pro pole panelů se musí pohybovat hodnota U_{mpp} v rozsahu mezi minimálním a maximálním vstupním U_{mpp} střídače.
- U_o Napětí panelu bez připojené zátěže. Toto napětí musí být menší nežli maximální vstupní napětí střídače.
- I_{mpp} Stejně jako maximální vstupní napětí má střídač také maximální vstupní proud, který musí mít větší hodnotu než je součet I_{mpp} jednotlivých řetězců zapojených v systému.
- U_{sys} Parametr U_{sys} se již nijak nevztahuje ke střídači, ale ovlivňuje maximální počet panelů zapojených do jednoho stringu.
- **Minimální a maximální teploty** Katalogové teploty zařízení přímo neovlivňují vzájemnou kompatibilitu, ale aplikace počítá i s nimi. Rozsah minimální a maximální teploty obou zařízení v zapojení musí mít mezi sebou neprázdný průnik.

Zapojení off-grid U off-grid systému je zapojení složitější a významnou roli zde hraje tzv. nominální napětí, které vyjadřuje velikost stejnosměrného napětí pro které je systém určen. Také se zde objevila dvě zařízení, které mohou pracovat v různých režimech a to střídač a regulátor. Bylo tedy nutné zachytit i tyto režimy do aplikace a při ověřování kompatibility zapojení, prověřit všechny režimy, které zařízení umožňují. Parametry U_{mpp} , U_o , I_{mpp} , jsou ověřovány stejně jako u on-grid zapojení, avšak ne v interakci se střídačem, ale regulátorem, neboť tento je spojen s FV polem panelů. Minimální a maximální teploty a U_{sys} jsou také ověřovány stejně jako u on-grid zapojení.

Nominální napětí je parametr, který je již ověřován pouze pro off-grid zapojení. Toto napětí musí být pro akumulátor, regulátor případně střídač shodné. Dalším parametrem ověřovaným u off-grid zapojení je maximální nabíjecí proud akumulátoru, který musí být větší nežli maximální proud regulátoru.

8.4 Fotovoltaický systém

Aplikace pracuje převážně s FV systémy jako celky, tedy bylo nutné navrhnout jejich vhodnou reprezentaci. FV systém se v aplikaci skládá z několika částí, kterými jsou zapojení(off-grid, on-grid), nosné konstrukce, kabeláž, jištění, stejnosměrný rozvaděč a také jeho statistiky. Ke každému systému patří samozřejmě i uživatel. V této kapitole bude čtenáři podáno vysvětlení této reprezentace a to popisem obrázku 19. Na tomto obrázku je znázorněno obecné schéma systému odpovídající jak on-grid, tak i off-grid systémům.

Hlavní třídou je třída PPowerImpl spolu s jejím rozhraním PPower. Tato třída propojuje jednotlivé části systému a také udržuje údaje týkající se především celkových statistik o použitých zařízeních. Mezi tyto údaje patří například celková cena, instalovaný výkon, cena zapojení, cena konstrukcí aj. Do této třídy je také přiřazen uživatel, jenž je vlastníkem systému. Reprezentace FV systému má v určitých částech aplikace nastaven rozsah na tzv. session. Tento rozsah je řízen frameworkem Spring, který vyžaduje právě vytvoření rozhraní pro tyto účely, proto tedy vznik rozhraní PPower.

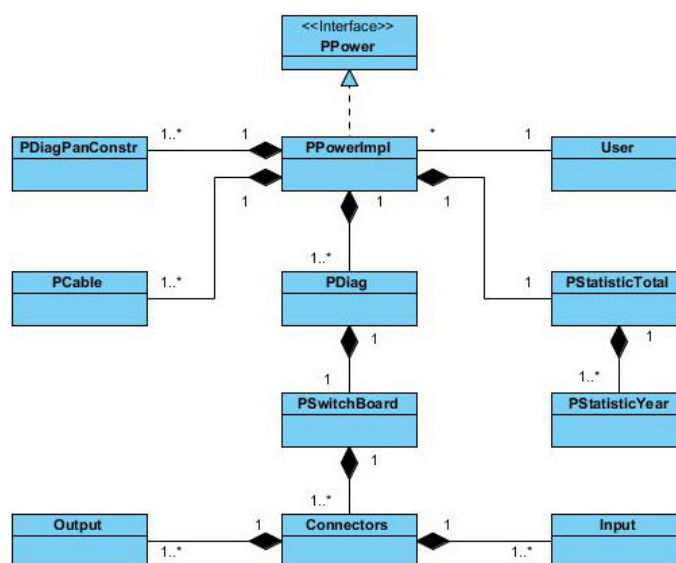
U každého FV systému jsou kalkulovány statistiky jeho provozu. Reprezentaci těchto statistik představují třídy PStatisticTotal a PStatisticYear. Jak již z názvu napovídá třída PStatisticTotal reprezentuje součet údajů vykalkulovaných za jednotlivé roky. U obou tříd se uchovávají údaje o vyrobené energii, ale také i o jejich ztrátách na jednotlivých zařízeních a samozřejmě pak i o finančním zisku. PStatisticTotal by mohla být přesunuta přímo do třídy PPowerImpl čímž by se odstranila asociace 1:1, avšak z důvodů přehlednosti a striktního oddělení statistik od samotného systému byla zvolena tato varianta.

Třída PDiagPanConstr reprezentuje rozmístění jednotlivých FV panelů na konkrétní konstrukce. Tedy zaobaluje statistiky týkající se rozměrů polí FV panelů i samotných konstrukcí, dále polohy panelů, ceny a počty konstrukcí aj.

PCable je třídou představující kabeláž systému. V původním návrhu byla tato třída v asociaci s třídou PDiag, avšak toto řešení mělo několik nedostatků, především pak ten, že jednotlivá kabeláž se vztahovala vždy k jednomu zapojení a další kalkulace s kabeláží byla tak obtížnější. Tato třída nereprezentuje přiřazení kabeláže do jednotlivých částí systému, ale vyjadřuje jaká kabeláž v jaké ceně a délce je v systému použita.

Nejdůležitější část systému, tedy zapojení je reprezentováno třídou PDiag. Tato třída zaobaluje zapojení popsané v kapitole 8.3 a o tomto zapojení uchovává další informace především týkající se cenové kalkulace. Třída také obsahuje odkaz na reprezentaci stejnosměrného rozvaděče. Ten je reprezentován třídou PSwitchBoard. U rozvaděče jsou evidovány jeho konektory, tedy vstupy do a výstupy z rozvaděče. Třídy Input a Output představují právě tyto vstupy respektive výstupy. Jeden výstup z rozvaděče může být spojen z více vstupy, tato situace je zachycena za pomoci třídy Connectors, která obsahuje seznam vstupů přiřazených ke konkrétnímu výstupu. V třídách Input a Output jsou evidovány použité jističe a samozřejmě kabeláž.

Je možné si povšimnout, že všechny třídy reprezentující nějakou část systému jsou s třídou PPowerImpl ve vztahu 1:1..*. Tedy každý FV systém musí obsahovat všechny své části, není možné některou z částí systému vypustit. Primárním důvodem je fakt, že systém bez některé z definovaných částí ztrácí smysl a rovněž všechny části jsou na



Obrázek 19: Třídní diagram FV systému

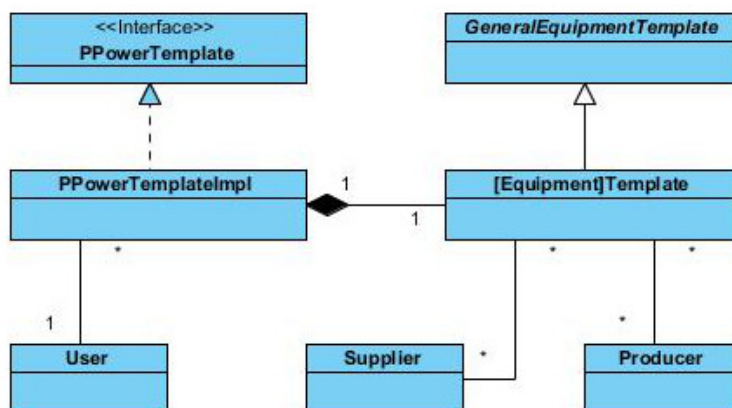
sobě více či méně závislé. Vazby mezi částmi systému a celkem jsou spojeny kompozitní vazbou, neboť část bez svého celku nemůže samostatně existovat.

8.5 Šablona

Jednou z funkcí aplikace je automatický návrh FV systému ze šablony, tedy i v tomto případě bylo nutné analyzovat a vytvořit vhodnou reprezentaci (viz obrázek 20). Reprezentace se skládá z jedné hlavní třídy a to PPowerTemplateImpl, která zaobaluje šablonu jako celek a tříd pro jednotlivá zařízení, tyto však nejsou do obrázku zahrnuty, pro účely jeho zjednodušení. Jako reprezentant těchto tříd je v obrázku vykreslena třída [Equipment]Template, za kterou je možné si dosadit libovolné zařízení. Třídy pro jednotlivá zařízení obsahují parametry podle kterých budou tyto zařízení vybírána do sestavovaného FV systému. Parametry společné pro všechna zařízení jsou uvedeny v abstraktní třídě GeneralEquipmentTemplate. U každého ze zařízení je možné zvolit konkrétní dodavatele a výrobce již v aplikaci evidované; proto tedy asociace s třídami Producer a Supplier. V PPowerTemplateImpl jsou uvedeny parametry popisující šablonu jako celek.

Vazbu mezi [Equipment]Template a PPowerTemplateImpl by bylo možné odstranit a přesunout atributy z této třídy do třídy PPowerTemplateImpl, avšak tím by se celá reprezentace zásadně znehlednila a také by se dosti omezila možnost rozšíření aplikace. Rozhraní PPowerTemplate vzniklo ze stejného důvodu jako rozhraní PPower popsané v předešlé kapitole.

Samozřejmě stejně tak jako každý FV systém má i šablona svého tvůrce, proto i zde je uvedena vazba mezi třídou User a PPowerTemplateImpl.



Obrázek 20: Třídní diagram šablony FV systému

Pro off-grid a on-grid systémy je reprezentace šablony oddělena, principiálně jsou však stejné. Tímto krokem je zajištěna rozšířitelnost aplikace respektive šablon o parametry, které jsou podporované pouze jedním typem systémů.

8.6 Komunikace s dalšími aplikacemi

Vlastní aplikace komunikuje s dalšími dvěma aplikacemi, které jsou vytvářeny v rámci jiných diplomových prací.

První aplikace je vytvářena Bc. Michalem Paluchem (aplikace pro výpočet úhrnu slunečního záření) a slouží jako zdroj informací pro množství dopadajícího slunečního záření na specifikovanou polohu. Samotná komunikace je založena na webových službách. Vlastní aplikace je ve vztahu “odběratel”, tedy neposkytuje této aplikaci žádná data, pouze data čerpá.

Naopak zdrojem dat se vlastní aplikace stává v případě komunikace s aplikací Bc. Martina Gardoně (EditorApplet). Primárním úkolem EditorAppletu je z vytvořených FV systémů vytvářet jednopólové schémata těchto systémů. Komunikace s EditorAppletem spočívá v zaslání FV systému, který je reprezentován formátem XML. Následně je XML reprezentace v EditorAppletu převedena do podoby výsledného schématu. EditorApplet díky informacím ze zaslání FV systému dokáže také sestavit výkres popisující rozložení panelů na konstrukcích s náhledem samotné konstrukce.

Vlastní aplikace slouží také jako zprostředkovatel komunikace mezi EditorAppletem a aplikací Bc. Michala Palucha.

9 Vlastní implementace

V této kapitole bude popsána implementace nejdůležitějších funkcí aplikace. Pro každou funkci budou vybrány vždy zajímavé části a řešení, které budou čtenáři náležitě předkládány. V této kapitole čtenář nalezne popis následujících funkcí:

- Konfigurátor zapojení
- Návrh FV systému pomocí šablony
- Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce
- Simulace provozu off-grid systémů

9.1 Konfigurátor zapojení

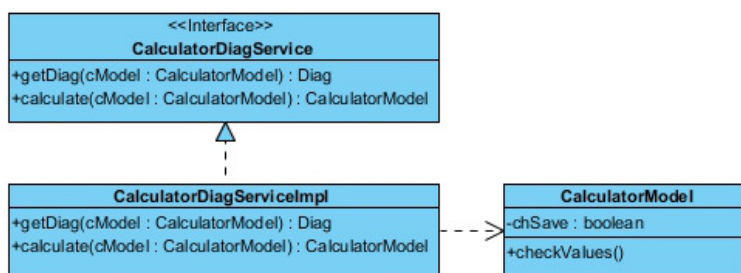
Prvotním krokem při implementaci aplikace bylo vytvoření funkce, která zajistí sestavení konkrétních zařízení do zapojení (viz kapitola 8.3), tak aby zařízení byla mezi sebou vzájemně kompatibilní. Aplikace tyto zapojení umožňuje sestavit dvěma způsoby. Prvním ze způsobů je takový, kdy si uživatel sám konfiguruje zapojení a aplikace pouze hlídá jejich kompatibilitu. Druhý sofistikovanější způsob již není v režii uživatele, nýbrž v režii aplikace, která vytváří tyto zapojení pomocí vlastní logiky.

Na obrázku 21 je znázorněn třídní diagram, který představuje hlavní část implementace konfigurátoru zapojení. Samotné zapojení je reprezentováno třídou `CalculatorModel`, která obsahuje více metod, avšak nejvýznamnější je metoda `checkValues`. V této metodě se ověřují veškeré parametry vyjadřující kompatibilitu zařízení v zapojení. Instanční proměnná `chSave` je nastavena na hodnotu `TRUE` v případě, že dané zapojení je kompatibilní a je možné jej vložit do databáze.

Pro různé operace s objektem typu `CalculatorModel` slouží třída `CalculatorModelServiceImpl`. Metoda `calculate` obstarává výpočet parametrů konkrétního zapojení, tyto jsou poté nastaveny objektu typu `CalculatorModel`. Druhou metodou je `getDiag`, která z objektu typu `CalculatorModel` vytvoří reprezentaci popsanou výše v kapitole 8.3 a zapojení v této reprezentaci pak může být vloženo do databáze. Reprezentace je principiálně shodná jak pro on-grid, tak i off-grid FV systémy.

9.2 Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce

Aplikace umožňuje sestavení FV systému dvěma způsoby. V této kapitole bude popsán první ze způsobů, kterým je interaktivní průvodce za pomoci něhož je uživateli umožněn návrh systému v několika na sebe logicky navazujících krocích. Tato funkce představuje jakousi pseudo-kalkulačku, která uživateli nabízí předem vykalkulované části (kompatibilní z daným systémem), avšak nepředepisuje co do systému přidat či naopak nepřidat. Účelem funkce je umožnit uživateli vytvořit si vlastní systém podle svých potřeb a požadavků, ale s ohledem na kompatibilitu přidávaných zařízení, tedy aplikace umožní sestavit pouze reálné systémy. Sestavení systému se děje v následujících krocích:



Obrázek 21: Třídní diagram konfigurátoru zapojení

zapojení, konstrukce, jističe, kabeláž, poloha a závěrečným krokem je zobrazení statistik systému. V následujícím textu budou jednotlivé kroky popsány podrobněji. Reprezentace je principiálně shodná jak pro on-grid, tak i off-grid FV systémy.

Objekt PPowerImpl popsán v kapitole 8.4 se v této funkci vyskytuje v rozsahu *session* (každý uživatel má k dispozici jeden objekt tohoto typu, který je pro něj jedinečný) a jako takový je zaobalen do objektu typu PPowerAssembleServiceImpl, který poskytuje metody pro přidávání a odebírání jednotlivých částí FV systému. V případě absence tohoto objektu a tedy přímého přístupu do objektu PPowerImpl by nastal problém v případě modifikace částí FV systému ve více místech aplikace. Znatelně by to omezilo udržitelnost kódu. Při přidání či odebrání části systému jsou automaticky upraveny parametry vztahující se k modifikované části.

Přes objekt typu PPowerAssembleServiceImpl se přistupuje do objektu typu PPowerImpl vždy z tzv. akčních tříd frameworku Struts², které odpovídají konkrétním JSP stránkám pro danou část návrhu FV systému.

9.2.1 Zapojení

V této části návrhu se zapojení jako taková nevytvářejí. Do budovaného systému je možno přidávat zapojení, již v databázi evidovaná. Objekt typu Diag (viz. kapitola 8.3) obsahuje pouze elektrické parametry, proto bylo nutné tento objekt zaobalit do dalšího objektu typu PDiag (viz kapitola 8.4). A právě zapojení zaobalená do těchto objektů jsou přidávána do FV systému.

Jakmile si uživatel zvolí konkrétní zapojení, je vypočtena cena tohoto zapojení přes všechny dostupné nabídky jednotlivých zařízení v daném zapojení obsažené. Tedy v případě on-grid zapojení, kdy pro FV panel existují 3 nabídky a pro střídač například nabídky 2, aplikace předloží uživateli celkem 6 možností z kterých může vybrat vhodnou kombinaci nabídek pro zařízení. Na základě rozsahu teplot zapojení je nastaven rozsah teplot pro budovaný systém.

9.2.2 Konstrukce

Další část návrhu tvoří výběr konstrukcí. Aplikace automaticky vykalkuluje vhodné konstrukce k FV panelům v budovaném systému. Konstrukce se počítají ke každému typu

panelu tzn. nezáleží na tom ve kterém zapojení je panel obsažen. Panely se rozdělí do skupin obsahující pouze stejné modely panelů a následně jsou pro tyto skupiny vypočteny konstrukce. Stejně jako v předchozí části se i zde vykalkulují konkrétní nabídky. Algoritmus přiřazující panely ke konstrukcím zkouší panely umístit jak na 'délku', tak i na 'šířku'. Následně je vybrána varianta v které je na danou konstrukci umístěno více panelů.

Pro reprezentaci skupin jednotlivých panelů byla zvolena kolekce typu *Map*, neboť umožňuje uložit dvě hodnoty a to klíč a hodnotu klíči přiřazenou, kde klíče i hodnoty jsou libovolné objekty. Tedy jako klíče byly zvoleny jednotlivé modely panelů obsažené v budovaném systému. Hodnotu pak představuje počet těchto panelů.

V případě kdy jeden panel je větších rozměrů než konstrukce, není možné tuto konstrukci k panelům přiřadit. Jedná se spíše o teoretickou možnost, jejíž výskyt v praxi je téměř vyloučen, nicméně pro bezchybnost aplikace je i tato možnost ověřována.

9.2.3 Stejnoseměrný rozvaděč

Rozvaděč je jedinou částí v tomto průvodci, kterou uživatel nemůže žádným způsobem ovlivnit. Rozvaděč je do systému přiřazen automaticky aplikací. Tato část musí být zahrnuta před manipulací s jističi, neboť právě jističe případně kabeláž jsou přidávány na konektory rozvaděče. Důvody proč se stejnoseměrný rozvaděč do FV systémů přidává jsou popsány v kapitole 3.5.

Aplikace vytváří rozvaděč na základě těchto pravidel:

- Počet vstupů rozvaděče je roven počtu stringů FV pole panelů v zapojení.
- Počet výstupů rozvaděče je roven počtu vstupů regulátoru respektive střídače.
- Počty vstupů se pro každý z výstupů rozvaděče liší maximálně o jedničku (mezi sebou).

Tedy v případě kdy bude FV pole panelů obsahovat osm stringů a zařízení připojené na výstup rozvaděče bude mít tři vstupy, bude rozdělení následující. Do prvního z výstupů rozvaděče budou připojeny tři stringy, pro druhý výstup bude situace totožná. K poslednímu výstupu se již připojí poslední dva zbývající stringy. Všechny tři pravidla pro tvorbu rozvaděče byly splněny.

Je nutné podotknout, že rozvaděč přidáný do zapojení nepředstavuje konkrétní zařízení s konkrétní nabídkou jako je tomu u ostatních prvků systému; jedná se pouze o doporučení jak případně rozvaděč navrhnout.

9.2.4 Jističe

Do připraveného rozvaděče je již možno umístit jednotlivé jističe. Tyto jističe jsou přiřazovány ke každé svorce rozvaděče. Pro jističe nevznikl žádný zaobalující objekt jako v případě jiných zařízení, neboť není nutné evidovat jejich detailnější parametry. Logika přiřazování jističů je pro vstupy a výstupy rozvaděče odlišná. Jističe jsou vybírány dle následujících kritérií:

- Hodnota jmenovitého proudu jističe umístěného na vstupních svorkách musí mít hodnotu větší nebo rovnu hodnotě I_{sc} připojeného stringu FV pole panelů. Zároveň však musí být tato hodnota menší nebo rovna hodnotě I_{rr} tohoto stringu .
- Hodnota jmenovitého proudu jističe na výstupních svorkách rozvaděče musí být větší než je součet hodnot I_{mpp} stringů připojených s daným výstupem.
- Jmenovité napětí jističe musí být větší nebo rovno hodnotě U_o připojeného stringu v případě jističů na vstupních svorkách. V případě výstupních jističů z rozvaděče je situace totožná; vstupy připojeny k výstupu jsou mezi sebou zapojeny paralelně, tedy elektrické napětí se v tomto případě nesčítá.
- Rozsah katalogových teplot jističe musí spadat do rozsahu teplot systému.
- Počet pólů jističe také ovlivňuje jeho výběr. Tyto hodnoty jsou v aplikaci nastaveny globálními proměnnými a není je v případě změny problém modifikovat.

Na vstupech jednoho rozvaděče se vždy nacházejí stejné jističe se stejnými nabídkami. K jednotlivým vstupům je možné přiřadit rozdílný jistič s rozdílnou nabídkou.

9.2.5 Kabeláž

Kabeláž je další částí návrhu. Jako taková je umístěna za částí jističů z prostého důvodu. U jističů je evidován maximální průřez kabeláže, kterou je možné do jističe připojit. Při sestavování systému se však jedná o poměrně omezující prvek, který může být v praxi nahrazen nějakým nestandardním řešením. Proto tedy toto omezení nepovažuje aplikace jako kritérium výběru kabeláže, avšak zařazením této části za část jističů vznikla příprava pro zahrnutí i tohoto omezení.

Kabeláž je do systému vkládána ve dvou místech. Nejprve do objektu typu `PPowerImpl`, kde je vyjádřena objektem `PCable` (viz obrázek 19), v němž je uložen seznam kabeláže obsažené v systému spolu s jejími finančními kalkulacemi. Druhým místem jsou svorky rozvaděčů, kde jsou vkládány informace o konkrétní kabeláži do svorky připojené. Pro kabeláž platí následující kritéria výběru vhodné kabeláže:

- Maximální proud v případě vstupní kabeláže rozvaděče musí být větší než I_{mpp} proud připojeného stringu na vstupní svorku. Jestliže se jedná o kabeláž připojenou na výstupní svorku rozvaděče, pak její maximální proud musí být větší jako součet I_{mpp} stringů připojených k vstupním svorkám, které jsou propojeny s tímto výstupem.
- Maximální napětí kabeláže musí mít větší hodnotu jak hodnota U_o stringu. Toto kritérium je stejné jak pro vstupní tak i výstupní svorky jističe. Vysvětlení lze nalézt v kapitole 9.2.4
- Pro rozsah teplot kabeláže platí stejná pravidla jako u jističů.

9.2.6 Pozice

Zde uživatel určuje pozici svého navrhovaného systému, tak aby výsledná simulace byla co nejpřesnější. Pozice je určena pomocí souřadnic GPS, k těmto souřadnicím je zapotřebí dále doplnit sklon panelů a ovzduší. V případě zadání těchto parametrů zašle aplikace požadavek na systém vyvíjený v rámci diplomové práce Bc. Michala Palucha. Výsledkem tohoto požadavku je množství dopadené energie za požadovaný počet let a to pro každý rok jednotlivě. Komunikace mezi těmito dvěma aplikacemi probíhá za pomoci tzv. web services (webové služby).

V případě kdy uživatel parametry o pozici do aplikace nevloží, jsou použity průměrné hodnoty v České republice. Na území ČR dopadá přibližně 950 až 1 100 kWh/m² za rok, tedy jako průměr byla zvolena hodnota 1 025 kWh/m² za rok. S touto hodnotou je v případě nevložení parametrů kalkulována sumarizace systému.

9.2.7 Sumarizace

Závěrečná část již není určena k samotnému sestavování systému, ale k zobrazení výsledků simulace jeho provozu. Simulace je kalkulována pro každý rok jednotlivě a její princip spočívá v zjištění množství vyrobené energie FV panelu, následně od tohoto množství jsou odečítány ztráty na jednotlivých zařízeních. Tedy kalkulace zahrnuje všechna zařízení do systému přidaná vyjma konstrukcí.

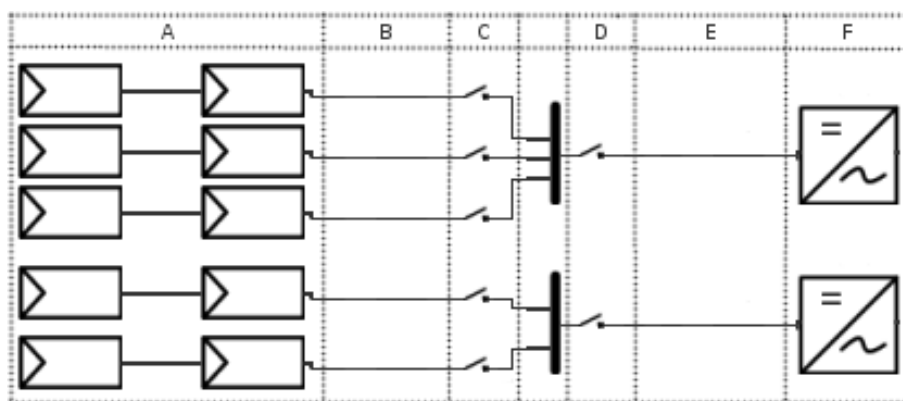
Celý FV systém je pro účely kalkulace pomyslně rozdělen do šesti částí (viz obrázek 22) u typů on-grid. V případě off-grid typů je situace totožná, pouze s přidáním výpočtu ztrát na akumulátoru popřípadě střídači.

V bloku A dochází ke kalkulacím na FV panelech. V této části se získá informace o množství vyrobené energie těmito panely. Při samotném výpočtu je brán zřetel na klesající účinnost panelů v čase. Ta je v aplikaci zachycena pomocí evidovaných atributů, avšak účinnost není evidována pro každý rok životnosti panelu, ale po pětiletých cyklech. Což je v nultém, pátém, desátém, patnáctém a dvacátém roku jeho provozu.

Pro jeden panel se určí množství jím vyrobené energie následovně. Nejdříve se určí plocha panelu v m² (ozn. jako x) a množství energie dopadené na plochu 1 m² (ozn. jako y) za jeden rok. Dále je nutné znát účinnost panelu v roce jeho provozu (ozn. jako z). Poté se již provede samotný výpočet $r = x * y * z$, kde výsledkem výpočtu (ozn. jako r) je množství energie vyrobené konkrétním FV panelem za jeden rok. Nyní již není problém zjistit množství vyrobené energie celým FV polem.

Část B vyjadřuje výpočet ztrát na vstupní kabeláži rozvaděče. Kabeláž je počítána pro každý string FV pole jednotlivě. Aplikace může evidovat pouze dva typy kabelů v závislosti na materiálu, a to měděný a hliníkový kabel. Měrný odpor kabeláže se zjistí pomocí délky l , rezistivity p a jeho průřezu S .

$$R = p * \frac{l}{S} \quad (1)$$



Obrázek 22: Rozdělení FV systému pro účely sumarizace

Takto vypočtený měrný odpor je dosazen do následujícího vzorce, kde hodnota I_{mpp} se rovná hodnotě I_{mpp} jednoho stringu

$$U = R * I_{mpp} \quad (2)$$

a následně je vypočtena výkonová ztráta na kabeláži.

$$P = U * I_{mpp} \quad (3)$$

Blok C vyjadřuje výpočet ztrát na vstupních jističích rozvaděče. U každého jističe je evidována jeho účinnost v procentech. Tedy vstupní výkon (výkon jednoho stringu) je upraven na hodnotu vypočtenou v závislosti na účinnosti jističe a to pro každý string.

U výstupních jističů (část D) je situace obdobná, avšak jako vstupní výkon, zde není výkon jednoho stringu, ale součet výkonů stringů spojených do konkrétního výstupu.

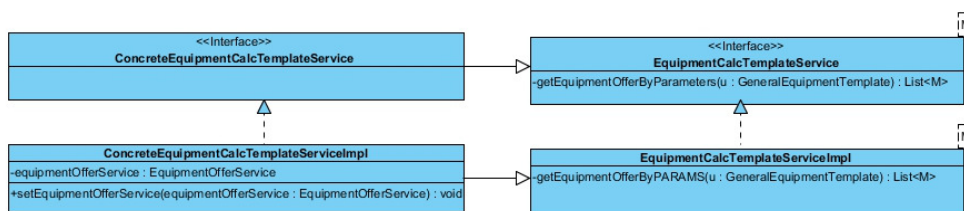
Následuje blok E, označující výpočet na kabeláži za rozvaděčem. Tato kabeláž je počítána stejnými vzorci jako v bloku B, pouze s rozdílem, kdy hodnota I_{mpp} je součtem hodnot jednotlivých stringů spojených s konkrétním výstupem.

Závěrečná část F symbolizuje výpočet ztrát na střídači respektive regulátoru. U střídačů je evidována maximální účinnost, tedy vstupní výkon je degradován o rozdíl účinnosti střídače od sta procent.

9.3 Návrh FV systému pomocí šablony

Proč vlastně vznikla i tato funkce, když si uživatel může navrhout FV systém za pomoci interaktivního průvodce? Vznikla z prostého důvodu, ne každý uživatel rozumí alespoň základům FV systémů. Tato funkce by měla neznalost eliminovat a vytvářet FV systémy na základě obecných parametrů, tedy takových které se netýkají přímo problému fotovoltaiky.

Při návrhu funkce se zvažovaly parametry podle kterých budou daná zařízení vybírána. Jak již bylo napsáno výše, tyto parametry se neměly přímo "dotýkat" fotovoltaiky.



Obrázek 23: Třídní diagram výběru zařízení z databáze pomocí konkrétních parametrů

Pro správné určení parametrů bylo také dotázáno několik osob, znajících problém FV systémů povrchně. Parametry které byly nakonec separovány jsou popsány v kapitole 7.2.

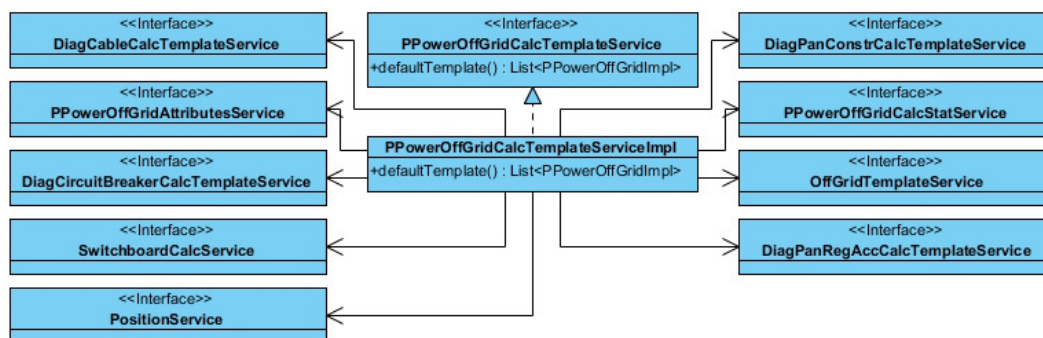
Specifické parametry pro každé zařízení nebyly pro dotazované nijak zvláště důležité. Například při otázce jaký druh FV panelu by si zvolili, byla častá odpověď taková, kdy nezáleželo na konkrétním druhu panelu, ale především na délce záruční lhůty, případně bude-li dodáván oblíbeným dodavatelem.

Jelikož třída reprezentující šablonu pro každé zařízení má jako svého předka třídu **GeneralEquipmentTemplate** (viz obrázek 20), která obsahuje totožné parametry výběru pro každé zařízení, vznikla pro získání zařízení odpovídající požadovaným parametrům z databáze třída **EquipmentCalcTemplateServiceImpl**, která za tímto účelem implementuje potřebné metody. Tato třída obsahuje metodu `getEquipmentOfferByParameters`. Uvnitř metody je implementována logika, která volá ve třídě metody rozsahu `private`, které zajistí samotné získání odpovídajících výsledků z databáze. Těchto `private` metod je tolik, kolik je kombinací parametrů mezi sebou. `Private` metody jsou na obrázku 23 reprezentovány metodou `getEquipmentOfferByPARAMS`, kde za "PARAMS" si čtenář představí všechny možné kombinace parametrů.

Pro zachování přehlednosti ilustrace, je v obrázku 23 zakreslena třída **ConcreteEquipmentCalcTemplateServiceImpl**. Pod touto třídou si čtenář představí, konkrétní třídy pro jednotlivá zařízení. Jejich funkce je stejná jako funkce **ConcreteEquipmentCalcTemplateServiceImpl** třídy, pouze se funkčnost vztahuje ke konkrétnímu zařízení. Tedy třída **ConcreteEquipmentCalcTemplateServiceImpl** je vytvořená pouze v rámci tohoto textu pro snadnější popis obrázků a zachování jejich přehlednosti. I v dalším textu bude použita třída **ConcreteEquipmentCalcTemplateServiceImpl** vyjadřující stejnou abstrakci jako v tomto případě.

EquipmentOfferService je objekt pomocí něhož se pro konkrétní zařízení přistupuje do databáze a vykonávají se potřebné dotazy. Opět tento objekt je nahrazován objektem pro konkrétní zařízení.

V současné implementaci by se mohlo do třídy **EquipmentCalcTemplateServiceImpl** přistupovat přímo neboť logika výběru parametrů je pro jednotlivá zařízení shodná, avšak v případě kdy by nebyla nastal by problém, proto tedy přístup přes **ConcreteEquipmentCalcTemplateServiceImpl**, kde je možné oddělit logiku výběru pro jednotlivá zařízení.



Obrázek 24: Třídní diagram kalkulace FV systému ze šablony

FV systém je aplikací sestavován od zapojení přes konstrukce, jističe až ke kabeláži. Pro každou tuto část jsou vždy podle požadovaných parametrů z databáze načítána konkrétní zařízení. Kdyby byla všechna zařízení načtena na začátku sestavování systému, mohlo by docházet ke zbytečným dotazům na databázi. Pro představu by byl zaslán na databázi dotaz pro kabely, jističe nebo konstrukce, avšak zjistilo by se, že zařízení pro zapojení nejsou kompatibilní, tím by nebylo možné sestavit FV systém, ale přesto by byla databáze zatěžována dotazy na ostatní zařízení, proto tedy je databáze dotazována pro jednotlivá zařízení až při nutnosti jejich použití.

Popis struktury tříd pro sestavení FV systému ze šablony bude vysvětlen na off-grid systému, pro on-grid je struktura téměř shodná (liší se zejména v názvech jednotlivých tříd). Ústřední třídou kalkulace šablony FV systému je třída PPowerOffGridCalcTemplateServiceImpl, ze které jsou volány metody v příslušných třídách pro výpočet jednotlivých částí FV systému. Výpočet každé části je řešen v samostatné třídě z důvodů lepší čitelnosti kódu i oddělení logiky. K těmto třídám se přistupuje přes rozhraní jimi implementovanými viz obrázek 24.

V následujícím textu budou popsány jednotlivé části systému tak jak jsou postupně sestavovány.

9.3.1 Zapojení

Prvním krokem při sestavování systému ze šablony je sestavení zapojení. Nejprve jsou získána zařízení odpovídající parametrům. Nejsou získávány přímo pouze objekty zařízení, ale objekty nabídek těchto zařízení, které již obsahují informace týkající se ceny či záruční lhůty zařízení aj.

V případě kdy není nalezen ani jeden záznam pro jednotlivá zařízení je aplikací vyvolána vlastní výjimka InformationTemplateException, která jako parametr konstruktoru přejímá řetězec, do kterého je vloženo chybové hlášení. Toto chybové hlášení je poté zobrazeno uživateli. Samozřejmě se nejedná o "surové" hlášení vyvolané aplikací, ale o hlášení které je upraveno do podoby srozumitelné uživateli.

Jakmile jsou všechna zařízení získána, jsou mezi sebou vzájemně zkombinována. Pro každou kombinaci zařízení aplikace vytvoří kompatibilní zapojení. Pro konkrétní zařízení

může vzniknou více zapojení rozdílného výkonu. Proto ze zapojení, která vznikla ke konkrétním zařízením je vybráno pouze dvacet procent nejvýkonnějších. Po této selekci vznikne v aplikaci seznam zapojení, které však nesou informaci pouze o jeho elektrických vlastnostech viz obrázek 18. Tyto zapojení následně aplikace vloží do objektů typu PDiag (viz obrázek 19), který již nese i informace týkající se financí.

Původní myšlenka byla taková, že FV systém se bude moci skládat z neomezeného množství zapojení, jejichž počet by byl omezen obecným parametrem (výkon, rozloha a cena). Z vytvořených zapojení by se určilo nejméně a nejvíce výkonné, odtud by se odvodil minimální a maximální možný počet zapojení v systému.

Nyní by se začaly procházet možné počty zapojení v systému mezi minimem a maximem. Pro každý tento počet by se za pomoci výpočtu kombinací s opakováním rozvrhly zapojení, kde n představuje celkový počet vytvořených zapojení a k pak konkrétní počet zapojení mezi minimem a maximem. Pro úplnost je zde uveden vzorec pro kombinace s opakováním [17].

$$C^*(n, k) = \binom{n+k-1}{n-1} \quad (4)$$

Bohužel však vznikalo obrovské množství kombinací (i při relativně malých hodnotách n a k) jednotlivých zapojení, které mezi sebou byly dosti podobné. Z tohoto důvodu vznikly v aplikaci dvě konstanty, které omezují minimální a maximální možný počet zapojení v systému (tedy k se může pohybovat v tomto rozmezí). Pokud by vznikla potřeba změnit minimální a maximální počet zapojení do systému přidávaných, není to díky vytvořeným konstantám problém.

Po zkombinování jednotlivých zapojení projdou tyto kombinace přes určitý filtr, který z těchto zapojení vybere maximálně dvacet zapojení, které nejlépe splňují uživateli požadavky. Seznam požadavků (parametrů) pro zapojení je popsán v kapitole 7.2.

Výsledné kombinace zapojení jsou následně vloženy do jednotlivých FV systémů; maximálně lze získat dvacet FV systémů, jelikož je možné získat maximálně dvacet kombinací zapojení. Při vložení zapojení do FV systému je automaticky nastavena jeho minimální a maximální teplota v závislosti na konkrétním zapojení; jedná se o nejdůležitější prvek systému, proto je teplota nastavována podle něj.

9.3.2 Konstrukce

Dalším krokem je doplnění FV systémů vygenerovaných v předešlém kroku o konstrukce. Opět je nutné nejprve nalézt konstrukce odpovídající parametrům zadaných uživatelem. Nejedná se o nalezení konstrukcí jako zařízení, ale nabídek konstrukcí; nabídek proto, jelikož jsou konstrukce vybírány i podle parametrů nabídek. Přes objekt nabídky se je možné dotázat na objekt zařízení jako takového. V případě jejich nenalezení je opět vyvolána výjimka `InformationTemplateException` s příslušným oznámením pro uživatele.

Nyní pro každý vytvořený FV systém budou separovány konstrukce splňující jejich vybrané zaměření; zaměřením je myšleno zdali uživatel klade důraz na jejich cenu nebo záruční lhůtu viz kapitola 7.2. Tato separace je realizována následovně.

P1	P2	P3
K1	K2	K4
K2	K3	
K3		

Tabulka 5: Konstrukce přiřazené jednotlivým panelům

Pro každý FV systém se vytvoří tzv. seznam seznamů viz tabulka 5. První seznam představuje jednotlivé typy panelů v konkrétním systému, v druhém jsou uloženy konstrukce kompatibilní s konkrétním typem panelu. V této chvíli se spustí algoritmus, který zkombinuje jednotlivé konstrukce pro FV systém vzájemně mezi sebou. Kombinace probíhá tak, že se mezi sebou kombinují konstrukce odlišných typů panelů. Výsledkem této kombinace je jeden seznam obsahující všechny kombinace konstrukcí pro každý FV systém. Pro systém jehož seznam seznamů je znázorněn tabulkou 5 by výsledný seznam vypadal následovně: (P1:K1, P2:K2, P3:K4), (P1:K1, P2:K3, P3:K4), (P1:K2, P2:K2, P3:K4), (P1:K2, P2:K3, P3:K4), (P1:K3, P2:K2, P3:K4), (P1:K3, P2:K3, P3:K4). Tento seznam nakonec projde filtrem a zvolí se pouze jedna nejlepší kombinace konstrukcí na základě jejich vybraného zaměření ke každému systému a právě tato kombinace bude do systému přiřazena.

Po přiřazení konstrukcí se pro každý systém respektive pro každé zapojení v něm, vygeneruje stejnosměrný rozvaděč. Postup jeho vytvoření je shodný s již popsaným postupem v kapitole 9.2.3.

9.3.3 Jističe

Po vytvoření rozvaděče jsou již systémy připraveny k přiřazování jističů respektive jejich nabídek. Stejně jako u konstrukcí a zapojení, spočívá i zde první krok v nalezení vhodných jističů, které odpovídají parametrům požadovaných uživatelem. Výjimka Information-TemplateException je vyvolána ze stejných důvodů jako výše. Přiřazování je odlišné pro vstupní a výstupní jističe.

U vstupních je logika přiřazování taková, že každý vstup jednoho rozvaděče obsahuje totožný jistič s totožnou nabídkou. Kdežto k výstupním svorkám rozvaděče je možné připojit na každou svorku různý jistič. Logika výběru jednotlivých jističů je však shodná.

Pro každý FV systém je postup přiřazení jističů následující. Aplikace vytvoří seznam obsahující jističe splňující požadavky uživatele na dané zařízení. Z tohoto seznamu jsou odfiltrovány všechny jističe nekompatibilní s danými zapojeními v konkrétním FV systému. Následně je tento seznam předán do filtru, kde je vybrán jistič na základě parametrů cena, záruka (viz kapitola 7.2) a ten je přiřazen na konkrétní svorky rozvaděče.

9.3.4 Kabeláž

Závěrečným krokem samotného sestavení systému je kabeláž. První krok a to výběr kabeláže respektive nabídek dle požadovaných parametrů je shodný jako v předchozích

krocích. Stejně jako u jističů je přiřazování kabeláže do rozvaděče pro vstupy a výstupy odlišné.

Pro vstupní kabeláž platí, že na vstupních svorkách jednoho rozvaděče je přiřazen stejný typ kabeláže, přičemž na vstup lze přiřadit pouze jednožilovou kabeláž. K výstupním svorkám lze již přiřadit pro každou ze svorek rozdílný typ kabelu. Tento kabel již může být jak jednožilový tak i dvoužilový. V případě jednožilového se délka násobí dvěma. Samozřejmě kabeláž jako taková je se zapojením do něhož je přiřazována kompatibilní.

Postup přiřazení kabeláže k systému je tento. Aplikací je vytvořen seznam obsahující kabeláž vybranou dle zvolených parametrů uživatele. Následně se z tohoto seznamu odeberou všechny takové kabely, které nejsou se zapojím v konkrétním FV systému kompatibilní. V této chvíli je seznam vhodných kabelů předán do filtru, který z něj vybere kabeláž nejvíce vyhovující požadovaným parametrům jako je cena, záruka a ztráty (viz kapitola 7.2). Tato kabeláž je následně přiřazena na konkrétní svorky rozvaděče a dále do objektu PCable (viz obrázek 19), který představuje celkovou kabeláž do systému přidanou.

9.3.5 Závěrečné výpočty

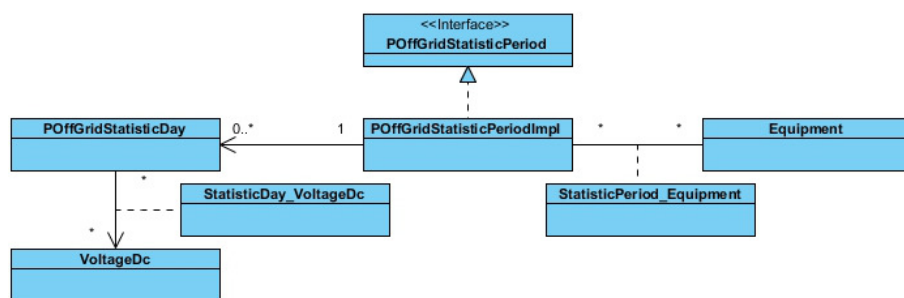
Po sestavení systému je nutné dopočítat veškeré atributy u systémů evidované. Tyto nejsou počítány v průběhu, neboť dokud není sestaven celý systém není jasné zda bude v závěrečném seznamu, který bude předložen uživateli; například pokud by pro daný systém neexistovala kabeláž nebyl by vytvořen. Tedy v případě počítání těchto atributů v průběhu by se celý proces sestavení systému zpomalil a mnohdy i zbytečně.

Po dopočtu všech atributů již následuje pouze spuštění simulace provozu tohoto systému. Výpočet simulace je totožný jako v kapitole 9.2.7. Po dokončení simulace je již uživateli předloženo maximálně dvacet systémů odpovídající jeho vloženým požadavkům.

9.4 Simulace provozu off-grid systémů

V této funkci jak již bylo popsáno v kapitole 7.3, dochází k denní simulaci provozu FV systému typu off-grid. Samotný systém musí být již sestavený a uložený v databázi. V první fázi simulace se specifikuje poloha systému za pomoci souřadnic GPS. Jakmile aplikace obdrží informaci o poloze začne komunikovat s aplikací Bc. Michala Palucha za pomoci WS. Jako požadavek této aplikaci je zaslána poloha a období po které chce uživatel simulovat FV systém. Následnou odpovědí pro vlastní aplikaci je pak množství dopadených kW na m² pro každý den v požadovaném období a na specifikovanou polohu.

Po obdržení této informace je spuštěn algoritmus, který vypočítá úbytky výkonu na FV systému. Postup kalkulace ztrát je obdobný jako ten popsáný v kapitole 9.2.7. V této chvíli je přesně specifikováno kolik daný systém vyrobí energie za každý den. Uživateli je umožněno specifikovat zatížení tohoto systému. Zatížením je myšleno typ spotřebního zařízení, které je k FV systému připojeno. U zařízení, které požaduje uživatel



Obrázek 25: Třídní diagram simulace FV systému

k systému přiřadit musí specifikovat jeho nominální napětí, spotřebu energie v kW a jeho denní provoz v hodinách. K systému však není možné přiřadit konkrétní typy zařízení (konkrétní typ rádia, vařiče a podobně), neboť by bylo nemožné držet v databázi aplikace veškeré typy spotřebních výrobků na trhu. Také se naskytla možnost neuvádět konkrétní spotřebu energie zařízení, ale pouze jeho energetickou třídu. Toto se však ukázalo také jako nepraktické, neboť ne všechna zařízení mají tuto třídu specifikovanou a navíc jestliže uživatel o svém konkrétním zařízení může zjistit jeho třídu, tak může zjistit i jeho spotřebu a simulace může být přesnější. Právě tyto důvody vedly k nutnosti specifikovat u typu zařízení jeho konkrétní spotřebu.

Po přidání zařízení se spustí algoritmus, který vypočítá dostatek či naopak nedostatek energie pro každý den v závislosti na připojené zátěži. Algoritmus počítá i s možností uložení přebytečné energie do akumulátorů k pozdějšímu využití. Tedy dostupná energie je pro každý den počítána jako součet vyrobené energie v aktuálním dnu a energie uspořené v akumulátoru z předešlých dnů.

Obrázek 25 popisuje reprezentaci simulace FV systému. Hlavní třídou je třída `POffGridStatisticPeriodImpl`, která reprezentaci simulace provozu zaobaluje jako celek. Implementuje rozhraní `POffGridStatisticPeriod`, které je tu z důvodů požadovaných Spring frameworkem. Třída `POffGridStatisticDay` reprezentuje hodnoty energie vyrobené pro každý jeden den. FV systém může obsahovat více nominálních napětí (nominální napětí jako takové je vyjádřeno třídou `VoltageDc`), pro které jsou hodnoty simulace provozu odlišné. Proto tedy vznikla třída `StatisticDay_VoltageDc`, v které jsou tyto odlišné hodnoty udržovány pro každé z nominálních napětí systému.

Třída `Equipment` je třídou obsahující typy spotřebních zařízení evidovaných v databázi. Právě z těchto typů zařízení uživatel volí ty, které připojuje ke svému vybudovanému FV systému. Jelikož jeden typ zařízení může být ve více systémech a naopak jeden systém může více zařízení obsahovat, vznikla asociační třída `StatisticPeriod_Equipment`, v níž jsou uloženy právě atributy o příkonu a délce provozu typu zařízení pro konkrétní systém.

10 Výsledky implementace

V předchozích kapitolách byly čtenáři představeny funkce z hlediska jejich vnitřní reprezentace a jejich fungování jako takového. Obsahem této kapitoly je popis ovládání těchto funkcí a jejich interakcí s uživatelem.

V celé aplikaci je kladen důraz na co nejvíce konzistentní ovládací prostředí. V rámci aplikace je používána jedna sada ikon jako ovládacích prvků, přičemž každá ikona má ve všech částech aplikace stejný význam užití. Pro tlačítka a nahrávací prvky byl také zvolen jednotný vzhled.

Zajištění konzistence u jednotlivých prvků stránek bylo poměrně snadné, avšak zajištění konzistence ve smyslu logického ovládání funkcí již bylo složitější. Snahou bylo zajistit principiálně stejné logické ovládání u každé z funkcí aplikace. Největším problémem bylo množství informativních atributů, zejména u jednotlivých částí FV systému, které bylo nutné zobrazit na požadavek uživatele v jednom kroku. Tento důvod vedl v aplikaci ke vzniku tzv. “vyskakovacích oken” (inspirace z vlastní bakalářské práce), které nejsou součástí zobrazované stránky jako takové a je tak možné z těchto oken po obrazovce libovolně pohybovat. Výhodou oken je i možnost zobrazení si více informací, které spolu nejsou přímo spjaty, ale pro uživatele je jejich závislost důležitá. Například si uživatel může do jednoho okna zobrazit fyzikální informace o FV panelu a do dalšího nabídku k tomuto panelu. Pro zrušení okna je nutné užít tzv. “dvojklik” levým tlačítkem počítačové myši. Jedná se o poměrně nestandardní řešení, které se u běžných aplikací nevyskytuje; většinou uzavření po stisku tlačítka (ikony). Zde však řešení bylo zvoleno, neboť v celé aplikaci se těchto oken nachází celá řada a tímto řešením je možné dosáhnout pohodlnější práce s aplikací.

Původní šablona vzhledu byla ve svislém směru poměrně dosti rozsáhlá, tedy tato šablona byla ponechána pouze na úvodní stránce aplikace, na ostatních stránkách je tato šablona upravena do menších rozměrů, tak aby vznikl co největší prostor pro funkční části stránek.

10.1 Konfigurátor zapojení

Na obrázku 26 je znázorněna část stránky reprezentující konfigurátor zapojení. Na tomto obrázku je zachycen konfigurátor off-grid zapojení, avšak princip je shodný i u on-grid typu systémů. Obrazovka je rozdělena do dvou hlavních částí.

V levé části se nachází ovládání k výběru požadovaných zařízení, spolu s rozložením stringů FV panelů a výběrem okolní teploty. Výběr jednotlivých parametrů zapojení je uskutečněn za pomoci tzv. “listových seznamů”. Po výběru těchto parametrů a stisku tlačítka “Vypočítej” se provede samotný výpočet. Po provedení výpočtu jsou výsledky zobrazeny za pomoci technologie AJAX. Použití AJAXu má následující opodstatnění. V již zmiňovaných listových seznamech jsou vloženy jednotlivá zařízení, kterých může být poměrně značné množství a v případě znovu načtení stránky by bylo nutné i tyto zařízení znovu načítat, tedy docházelo by k nadbytečným přístupům do databáze.

K zobrazení výsledku kompatibility zapojení slouží pravá strana obrazovky, kde jsou vypisovány hodnoty parametrů, podle kterých je samotná kompatibilita zapojení posu-

Ovládací formulář pro výpočet

Výběr zařízení (povinně)

Panel: PVE-PN-10

Akumulátor: LiFeYPO4 12V 40A

Regulátor nabíjení: SL15

Výběr zařízení (nepovinně)

Střídač: NEVYBRÁNO

Zapojení panelů

Počet stringů: 1

Počet panelů ve stringu: 1

Rozsah teplot

Maximální teplota okolí [°C]: 50

Minimální teplota okolí [°C]: -30

Vypočítej

Výsledek výpočtu

Zařízení a jejich konfigurace není kompatibilní

U_{mp} panelů:

Množství panelů ve stringu je vysoké, snižte počet panelů ve stringu

Uložení zapojení

Zapojení není možné uložit, k pozdějšímu využití

Zapojení v režimu nominálního napětí 12.0V

Zapojení mezi regulátorem a akumulátorem

Nominální napětí akumulátoru [V]:	12.0	
Nominální napětí regulátoru [V]	12.0/	✓
Max. nabíjecí proud akumulátoru [A]:	20.0	
Max. proud regulátoru [A]:	12.0[V] :20.0	✓

Zapojení mezi regulátorem a fotovoltaickými panely

Obrázek 26: Výsledek implementace konfigurátoru zapojení

zována. Ke každému z těchto parametrů je přiřazena ikona vyjadřující shodu či naopak neshodu hodnoty parametru modelovaného zapojení. Jestliže některý z parametrů se neshoduje (na obrázku 26 parametr U_{mpp} panelů), je uživateli předložen krátký text, popisující neshodu konkrétního parametru spolu s radou jak tuto neshodu odstranit.

Původní myšlenka návrhu tento text neobsahovala, při testování s běžnými uživateli se ukázalo, že spousta z nich v případě nekompatibility některého z parametrů nedokáže namodelovat zapojení, tak aby se parametr stal vyhovujícím. S přidáním popisku problému se již situace zlepšila a i uživatelé používající funkci konfigurátoru prvně, dokázali sestavit kompatibilní zapojení bez větších problémů.

10.2 Návrh FV systému pomocí interaktivního průvodce

Návrh FV systému probíhá po jednotlivých krocích, kdy v každém z těchto kroků je možné přidávat jednu z jeho částí (zapojení, konstrukce, jističe, kabeláž). Samotné přidání zařízení probíhá vždy minimálně ve dvou krocích.

1. Výběrem konkrétního/konkrétních zařízení.
2. Výběrem nabídek pro zvolené zařízení.

Jakmile je zařízení spolu s jeho nabídkou vybráno, je možné tento celek umístit do FV systému. Při samotném přidávání zařízení je uživateli předkládáno relativně velké



Obrázek 27: Výsledek implementace interaktivního průvodce

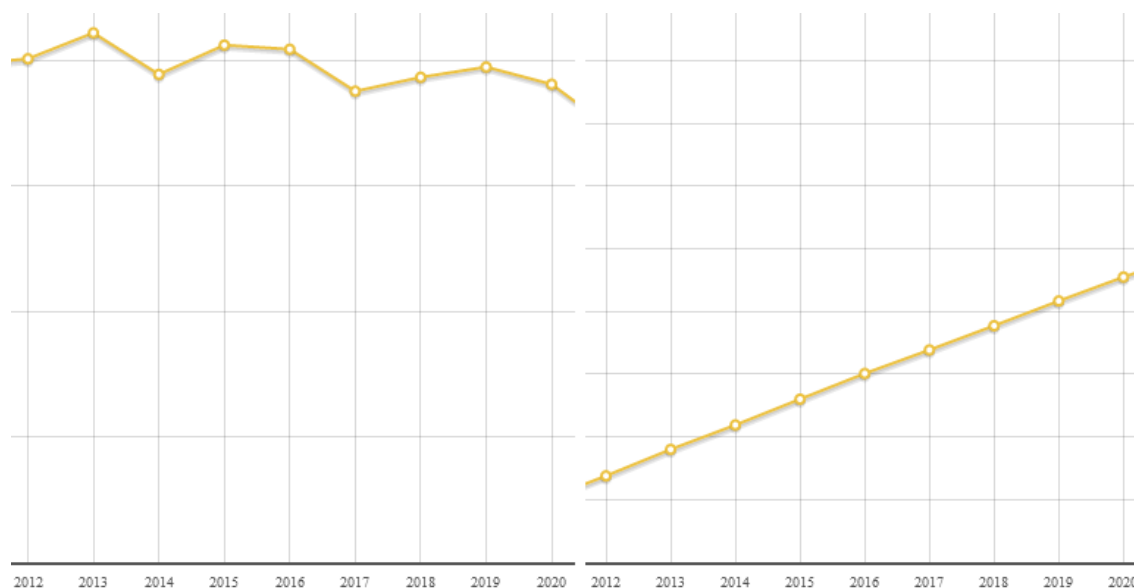
množství informací, které bylo problém “vtěsnat” na jednu stránku, proto v této funkci našly velkého uplatnění již zmíněná vyskakovací okna.

V každém kroku návrhu je obrazovka horizontálně rozdělena do dvou sekcí. Horní sekce představuje sekci informační a též navigační. Ve spodní sekci probíhá samotný výběr a přidávání zařízení. Na obrázku 27 je ukázka rozložení obrazovky sloužící pro přidání zapojení do systému; rozložení obrazovky je pro další kroky návrhu shodné.

Jak je vidět z obrázku 27 jsou v horní části umístěny dvě tlačítka sloužící k vymazání přidávaných zařízení v aktuální části a k přechodu do části následující. Pod tlačítka se již nachází tabulka obsahující statické informace o budovaném FV systému. Posledním prvkem informační části je tabulka v níž jsou zobrazeny již přidaná zapojení.

Spodní část obsahuje pouze tabulku s dostupnými zapojeními evidovanými v systému. Právě s těmito zapojení je uživateli umožněno vybírat ty, které přidá do FV systému. V tabulce jsou obsaženy pro každý řádek ikony, díky nimž je buďto zapojení do systému možné přidat nebo si zobrazit detailní informace o něm.

Po vytvoření FV systému a výběru jeho pozice je již uživatel přesměrován na výslednou stránku, kde je zobrazeno zhodnocení vytvořeného systému. Zhodnocení je jak formou tabulek, tak i grafů. Pro každý FV systém je možné vygenerovat soubor PDF zahrnující nejdůležitější informace o něm. Příklad grafů je uveden na obrázku 28



Obrázek 28: Příklad výsledných grafů

10.3 Návrh FV systému pomocí šablony

Proces tvorby šablony je sestaven z několika nezávislých stránek; stránkami jsou myšleny www stránky na kterých se vybírají parametry, které mají zařízení do systému přidávaná splňovat. Pro jeden druh zařízení je vytvořena jedna samostatná stránka. Neexistuje pravidlo jak tyto stránky procházet a tak je umožněno uživateli libovolné procházení mezi jednotlivými stránkami; procházení může být uskutečněno sekvenčně, kdy jsou uživateli postupně zobrazeny veškeré druhy zařízení jenž je možno přidat do FV systému nebo přímým “skokem” na požadovanou stránku jednoho ze zařízení.

Celá obrazovka je rozdělena do dvou hlavních sekcí. Ve spodní sekci se provádí výběr jednotlivých parametrů zařízení. Horní sekce má pak splňovat úlohu navigační a informační. Na obrázku 29 je znázorněna právě horní sekce obrazovky výběru parametrů jednoho zařízení. Zařízení ke kterému jsou aktuálně parametry přiřazovány je umístěno pro přehlednost do modrého čtverce; na této ilustraci se návrh šablony nachází ve výběru parametrů pro invertor. Navigační část obsahuje dvě tlačítka, kterými je možno sekvenčně procházet mezi jednotlivými stránkami návrhu.

Ve střední části ilustrace jsou zobrazena zařízení u nichž je možné ovlivnit parametry jejich výběru. Při najetí myši na některé ze zařízení jsou uživateli zobrazeny parametry, které již u zařízení definoval. Při kliknutí na obrázek konkrétního druhu zařízení je uživatel přesměrován na stránku, na které je možné tomuto zařízení přidávat parametry výběru.

K samotnému výběru parametrů pro dané zařízení slouží spodní tlačítka. Po stisku těchto tlačítek se za pomoci AJAXu do spodní části obrazovky (pro úsporu místa je zde jen horní část obrazovky) načtou parametry z nichž může uživatel volit ty, které



Obrázek 29: Výsledek implementace šablony FV systému

u daného zařízení požaduje. V počátcích implementace této funkce se uvažovalo, že pro každý parametr zařízení vznikne speciální stránka, avšak v celé aplikaci je využití AJAXu poměrně časté a tak pro zachování konzistence prostředí byla nakonec zvolena tato varianta volby parametrů.

Spodní tlačítka mohou nabývat dvou barev a to modré a zelené. Modré tlačítko vyjadřuje situaci, kdy ve skupině těchto parametrů uživatel nezvolil jejich hodnoty, zelené tlačítko vyjadřuje přesně opačnou situaci. Ku příkladu na obrázku 29 je tlačítko “Cena” zbarveno do zelena, tedy uživatel již ví, že nastavil parametr cena pro dané zařízení.

V případě kdy požaduje uživatel komplexní informace o vytvářené šabloně musí použít tlačítko “Šablona”. Po jeho stisku jsou na obrazovce zobrazeny veškeré informace o právě vytvářené šabloně. Principiálně je proces tvorby šablony stejný jak u on-grid tak off-grid systémů.

Na obrázku 30 je možno shlédnout závěrečný krok při sestavování šablony. Tento krok se již netýká jednotlivých zařízení, ale zaměření částí FV systému. Uživatel pomocí listových seznamů zvolí požadované parametry systému a následně je mu umožněno spuštění tvorby FV systému ze šablony. Po vytvoření systému je možno shlédnout jejich statistiky stejně jako v případě interaktivního průvodce.

10.4 Simulace provozu off-grid systémů

Celý proces simulace provozu FV systému je rozdělen do dvou kroků za pomoci stejného počtu obrazovek (stránek). Na první z obrazovek je uživateli předložen klasický formulář pro vložení požadovaných atributů, jako jsou souřadnice GPS aj. Po zadání hodnot atributů a jejich odsouhlasení je již uživatel přesměrován na druhou z obrazovek.

Druhá obrazovka již obsahuje výsledky simulace provozu systému a možnost připojit typy zařízení jako zátěž k simulovanému systému. Tato obrazovka je horizontálně rozdělena na dva segmenty. Horní segment obsahuje formulář pro přiřazení typu zařízení k systému. Za pomoci tzv. “listových seznamů” uživatel zvolí typ zařízení, nominální napětí a jeho provoz. Po stisku tlačítka “Spočítej” se za pomoci AJAXu přiřadí daný typ

The image shows a software interface for configuring an FV system template. It consists of four main sections, each with a title bar and a configuration area:

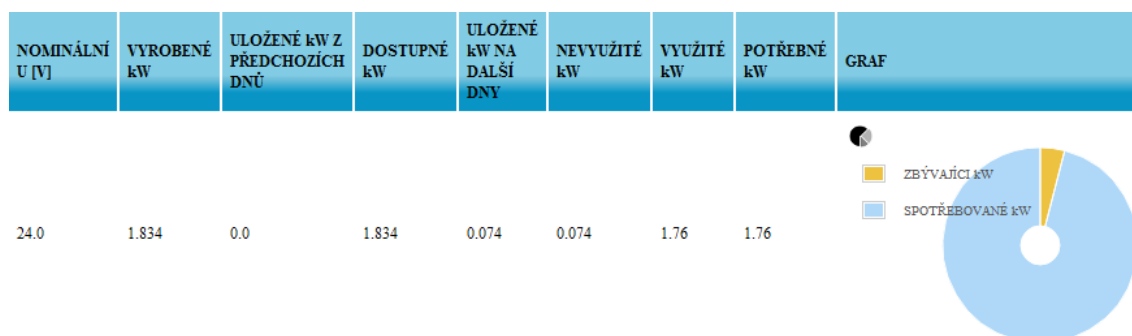
- Zapojení** (Connection): Contains a dropdown menu set to 'VÝKON / CENA'. Below it are two sliders: 'Instalovaný výkon[Wp]' (set to 299) and 'Tolerance instalovaného výkonu[%]' (set to 3).
- Konstrukce** (Construction): Contains a dropdown menu set to 'CENA / ZÁRUKA'.
- Kabeláž** (Cabling): Contains a dropdown menu set to 'CENA / ZÁRUKA'.
- Jističe** (Circuit breakers): Contains a dropdown menu set to 'CENA / ZÁRUKA'.

Obrázek 30: Výsledek implementace šablony FV systému

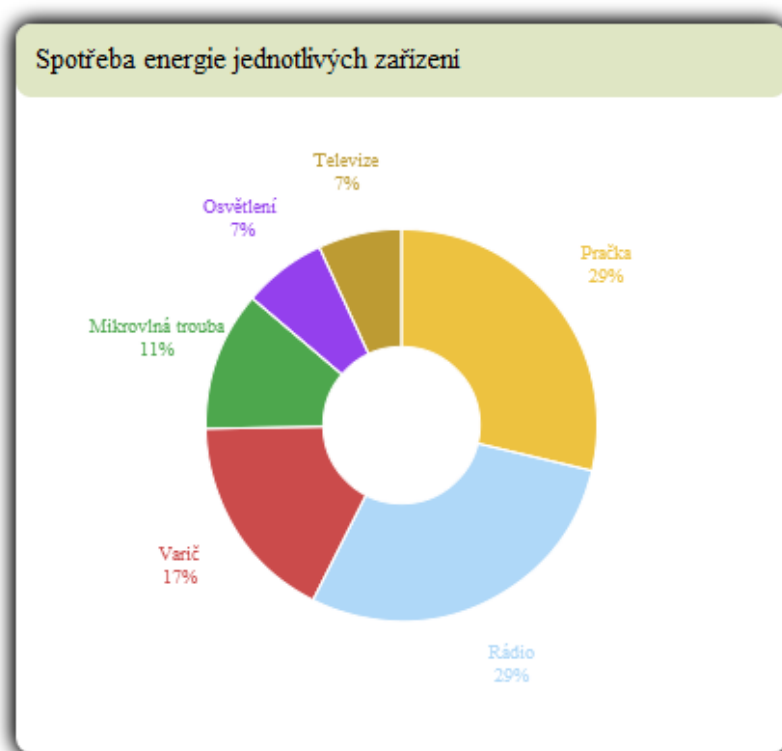
zařízení k systému a spustí se simulace provozu jejíž výsledky jsou zobrazeny ve spodním segmentu obrazovky.

Ústředním prvkem výsledků simulace provozu je tabulka popisující simulaci za pomoci několika hodnot atributů (viz obrázek 31). Výsledky jsou také prezentovány pomocí grafů. Výsledné grafy popisují následující skutečnosti.

- Poměr mezi spotřebovanou a dostupnou energií pro každý den,
- množství zbývající energie pro každý den,
- množství energie dopadené na m^2 v lokalitě systému ke každému dnu,
- množství vyrobené energie systémem pro každý den,
- poměr spotřeby jednotlivých zařízení (viz obrázek 32),
- poměr délky jejich provozu.



Obrázek 31: Ústřední tabulka popisující simulaci



Obrázek 32: Poměr spotřeby jednotlivých zařízení

11 Závěr

Výsledkem řešení diplomové práce je aplikace pokrývající oblast výstavby FV systémů typu on-grid i off-grid. Systémy jsou sestavovány z reálných zařízení a jejich reálných nabídek. Koncovému uživateli je tak poskytnuta aplikace umožňující sestavení reálných FV systémů společně s generováním jejich dokumentace.

V průběhu analýzy problému se částečně vycházelo z poznatků načerpaných při vytváření vlastní bakalářské práce. Pro potřeby této práce bylo však množství načerpaných poznatků nedostačující a některé z již načerpaných nebyly popsány do požadovaných detailů. Zřejmě největším problémem při analýze byla separace parametrů, které budou evidovány v aplikaci pro každé z typů evidovaných zařízení. Tento problém vznikl hlavně z důvodu, kdy jednotlivý výrobci mohou do svých katalogových listů uvádět odlišné parametry ke konkrétním zařízením. Nakonec se však podařilo separovat parametry důležité pro samotné kalkulace na zařízeních, a také parametry jež popisují zařízení obecněji.

V aplikaci byly implementovány tři hlavní funkce. Dvě funkce vznikly pro systémy typu on-grid i off-grid a pokrývají oblast samotného návrhu těchto systémů, avšak každá z funkcí přistupuje k budování systému s poněkud odlišnou filosofií. Třetí z hlavních funkcí je funkce simulace provozu off-grid systémů, která má uživateli podat dostatek informací o provozu konkrétního systému pro specifikované časové období.

Důležitou oblastí aplikace je její databáze, kdy musely vzniknout poměrně rozsáhlé datové struktury, pokrývající jak samotná zařízení, jejich nabídky, tak i struktury pro FV systémy a šablony. Velmi zdařilou je možnost tvorby dokumentace k systému. Dokumentace je reprezentována soubory PDF, v kterých jsou obsaženy stejné popisné informace o systému jako v aplikaci samotné. Aplikace byla tvořena v rámci většího projektu, v němž jsou zahrnuty další dvě aplikace vyvíjené studenty VŠB-TUO. Každá z aplikací řeší odlišnou část problému fotovoltaiky a jejich spojením vzniká silný nástroj k tvorbě FV systémů.

V současnosti se jedná o druhou verzi aplikace, která byla od původní značně rozšířena. Aplikace poměrně jednoduchým a srozumitelným způsobem umožňuje uživateli návrh FV systému bez větších znalostí v oblasti fotovoltaiky. Velkou výhodou aplikace na rozdíl od aplikací testovaných je její dostupnost z Internetu i jednoduchost návrhu systémů.

V průběhu implementace se vyskytly podněty k jejímu dalšímu rozšíření v budoucnu. Jako jedno z možných rozšíření se nabízí možnost stavby FV systémů i z méně důležitých zařízení, které nejsou potřebné pro jeho samotný běh. Funkce pro simulaci off-grid systémů by se mohla stát více detailnější, kdy by samotné výpočty probíhaly po hodinových intervalech.

Aplikace začala vznikat v době, kdy v ČR byly podmínky pro fotovoltaiku výhodné, bohužel nyní je situace opačná a otázkou zůstává, kterým směrem se fotovoltaika v ČR bude ubírat nadále, prozatím se zdá, že to bude spíše cestou jejího omezení.

12 Reference

- [1] PERLIN, John. *A History of Photovoltaics* [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.usc.edu/org/edisonchallenge/2008/ws1/>
- [2] *The History of Solar* [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar%5Ftimeline.pdf>
- [3] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, 81 s. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [4] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. 1. vyd. V Praze: ČZU, 2005, 122 s. ISBN 80-213-1335-8.
- [5] MARKVART, T a Luis CASTANER. *Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications*. New York: Elsevier Advanced Technology, c2003, 984 s. ISBN 1-85617-390-9.
- [6] SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. *Photovoltaics: design and installation manual : renewable energy education for a sustainable future*. Gabriola Island, B.C.: New Society Publishers, c2004, 315 s. ISBN 08-657-1520-3.
- [7] ŘEHÁK, Jaromír, Jiří BÁRTEK a Radim BAŘINKA. SOLARTEC S.R.O. *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování*. Praha: Česká energetická agentura.
- [8] KANISOVÁ, Hana a Miroslav MÜLLER. *UML srozumitelně*. 2. aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2006, 176 s. ISBN 80-251-1083-4.
- [9] ARLOW, Jim a Ila NEUSTADT. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektově orientovaná analýza a návrh prakticky*. Vyd. 1. Překlad Bogdan Kiszka. Brno: Computer Press, 2007, 567 s. ISBN 978-80-251-1503-9.
- [10] ZAKHOUR, Sharon. *Java 6*. Brno: Computer Press, 2007, 534 s. ISBN 978-80-251-1575-6.
- [11] HALL, Marty. *Java: servlety a stránky JSP*. Praha: Neocortex, 2001, 585 s. ISBN 80-863-3006-0.
- [12] ROUGHLEY, Ian. *Starting Struts 2* [online]. 2006 [cit. 2012-04-12]. ISBN 978-1-4303-2033-3.
- [13] ROUGHLEY, Ian. *Practical Apache Struts2 Web 2.0 projects*. New York: Springer-Verlag New York, c2007, 338 s. ISBN 15-905-9903-9.
- [14] JOHNSON, Rod, Juergen HOELLER, Keith DONALD, Colin SAMPALEANU, Rob HARROP, Alef ARENDSSEN, Thomas RISBERG, Darren DAVISON, Dmitriy KOPYLENKO, Mark POLLACK, Thierry TEMPLIER, Erwin VERVAET, Portia TUNG, Ben

- HALE, Adrian COLYER, John LEWIS, Costin LEAU, Mark FISHER, Sam BRANNEN, Ramnivas LADDAD, Arjen POUTSMA, Chris BEAMS, Tareq ABEDRABBO, Andy CLEMENT, Dave SYER a Oliver GIERKE. *Reference Documentation* [online]. 2010 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://static.springsource.org/spring/docs/3.0.x/>
- [15] KING, Gavin, Christian BAUER, Max ANDERSEN, Emmanuel BERNARD a Steve EBERSOLE. *Hibernate Reference Documentation* [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://docs.jboss.org/hibernate/orm/3.3/reference/en/pdf/>
- [16] ORACLE. *MySQL 5.5 Reference Manual: Including MySQL Cluster NDB 7.2 Reference Guide* [online]. 2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://dev.mysql.com/doc/>
- [17] HLINĚNÝ, Petr. *Diskrétní matematika*. Ostrava, 2005.